



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Análisis de la fiabilidad y disponibilidad de los  
aerogeneradores.**

**Autor:**

**Martín Mayordomo, Clara**

**Tutor:**

**Miguel González, Luis Javier  
Ingeniería de Sistemas y Automática**

**Valladolid, Septiembre-2015**





# RESUMEN

---

En el presente trabajo fin de grado, se analiza la metodología para evaluar la fiabilidad y disponibilidad de los aerogeneradores de cuatro parques eólicos de la *Compañía eólica de Tierras Altas S.A. (CETASA)* ubicados en la provincia de Soria. El análisis de fiabilidad realizado se basará en los tiempos de buen funcionamiento (tiempos entre dos fallos consecutivos), tomando como ejemplo el año 2011. Teniendo en cuenta estos tiempos y la realización de una división por grupos de los fallos que producen parada en el aerogenerador estableceremos una distribución estadística para cada grupo de fallos de cada aerogenerador.

## **PALABRAS CLAVE:**

Aerogenerador, mantenimiento, fiabilidad, disponibilidad, parque eólico.





# ÍNDICE

---

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1. Antecedentes.....	7
1.2. Objetivos.....	9
1.3. Motivación.....	10
1.4. Descripción del trabajo.....	10
1.5. Consideraciones sobre el trabajo realizado.....	12
<b>CAPÍTULO 2. AEROGENERADORES.....</b>	<b>13</b>
2.1. Definición de aerogenerador.....	13
2.2. Tipos de turbinas eólicas.....	13
2.3. Componentes básicos de un aerogenerador.....	15
2.3.1. Rotor eólico.....	18
2.3.1.1. Mecanismo de cambio de paso de pala.....	18
2.3.2. Sistema de transmisión.....	21
2.3.2.1. Apoyo del sistema de transmisión.....	22
2.3.3. Freno mecánico.....	24
2.3.4. Caja multiplicadora.....	25
2.3.2.1. Tipos de cajas multiplicadoras.....	26
2.3.2.2. Dimensionamiento.....	27
2.3.2.2. Rendimiento.....	27
2.3.5. Torre.....	28
2.3.5.1. Tipo de torres.....	29
2.3.5.2. Accesibilidad.....	30
2.3.7. Mecanismo de orientación.....	30
2.3.8. Generador eléctrico.....	31
2.3.9. Convertidor.....	32
2.3.10. Veleta y anemómetro.....	33

<b>CAPÍTULO 3. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....</b>	<b>35</b>
3.1. Terminología del mantenimiento.....	35
3.2. Tiempos relativos al mantenimiento.....	36
3.3. Introducción a la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.....	38
3.4. Diferentes formas de mantenimiento.....	40
3.4.1. Mantenimiento correctivo.....	41
3.4.2. Mantenimiento preventivo.....	42
3.4.3. Mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM).....	43
3.5. Conocimiento del material.....	45
3.5.1. Naturaleza y clasificación del material.....	45
3.5.1.1. Inventario del parque del material.....	46
3.5.1.2. Dossier-máquina.....	46
3.5.1.3. Fichero histórico de la máquina.....	46
3.6. Conocimiento de un fallo.....	49
3.6.1. Estado de un sistema.....	49
3.6.2. Análisis de un fallo.....	49
3.6.2. Tasa de fallos.....	50
3.7. Teoría de la fiabilidad.....	51
3.7.1. Expresión matemática.....	52
3.7.2. Consideraciones sobre la tasa de fallos.....	53
3.7.3. Modelos utilizados en fiabilidad.....	56
3.7.3.1. Modelo exponencial.....	56
3.7.3.2. Modelo de Weibul.....	58
3.7.3.3. Modelo Gamma.....	61
3.7.3.4. Modelo Lognormal.....	64
 <b>CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS.....</b>	 <b>67</b>
4.1. Datos de los fallos.....	67
4.1.1. Descripción de los grupos de fallos.....	76
4.2. Datos de velocidad del viento.....	82
 <b>CAPÍTULO 5. DIAGRAMAS DE PARETO.....</b>	 <b>83</b>



5.1. Introducción.....	83
5.2. Metodología.....	84
5.2.1. Obtención de los datos.....	85
5.2.2. Elaboración del diagrama.....	85
<b>CAPITULO 6. ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....</b>	<b>89</b>
6.1. Introducción.....	89
6.2. Cálculos.....	91
<b>CAPÍTULO 7. ESTUDIO DE FIABILIDAD.....</b>	<b>99</b>
7.1. Preparación de los datos.....	99
7.2. Ajuste gráfico, determinación de los parámetros.....	100
7.2.1. Procedimiento.....	102
7.2.2. Ejemplos de la realización del estudio de fiabilidad.....	105
<b>CAPÍTULO 8. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>119</b>
<b>CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>123</b>
9.1. Introducción.....	123
9.2. Conclusiones técnicas.....	124
9.3. Conclusiones personales.....	127
9.3. Líneas de trabajo futuras.....	128
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>133</b>
ANEXO A. Descripción de los parques eólicos.....	135
A.1. Parque eólico Oncala.....	137
A.2. Parque eólico Magaña.....	140

A.3. Parque eólico Castilfrío.....	144
A.4. Parque eólico El Cayo.....	149
ANEXO B. Grafico en n.....	153
B.1. Parque eólico Castilfrío.....	155
B.2. Parque eólico El Cayo.....	159
B.3. Parque eólico Oncala.....	163
B.4. Parque eólico Magaña.....	168
ANEXO C. Modelo y parámetros característicos de cada grupo de fallos del estudio de fiabilidad.....	173
C.1. Parque eólico Castilfrío.....	175
C.2. Parque eólico El Cayo.....	190
C.3. Parque eólico Oncala.....	208
C.4. Parque eólico Magaña.....	220



# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. ANTECEDENTES

La energía eólica trata de aprovechar la fuerza del viento que circula por la atmósfera debido a la diferencia de presión de ésta, provocada, en la mayoría de los casos, por las variaciones de temperatura. La circulación del aire en la atmósfera es de dos tipos: circulación planetaria, producida por la emisión de los rayos solares sobre la tierra y por el efecto de rotación de ésta, y la circulación a pequeña escala, que es de la que se consigue el aprovechamiento del viento. Esta circulación ha de tener en cuenta los efectos producidos por el mar, las montañas, y todos aquellos que derivan del relieve del terreno. Por tanto, las variables que definen el régimen de los vientos en una ubicación determinada son: la situación geográfica, las características climáticas locales, la estructura topográfica del lugar, la orografía puntual de la zona y la altura sobre el nivel del suelo. [CETASA, documentación interna, 2015]

Se define parque eólico, como central eléctrica formada por agrupaciones de aerogeneradores de mediana potencia conectados entre sí, que canalizan la producción de energía hacia una red general del parque. El desarrollo de estas tecnologías se lleva a cabo con potencias del rango de MW.

El aprovechamiento de la energía eólica constituye una fuente de energía sumamente atractiva y ventajosa, no solamente para las empresas de servicios públicos, sino para la economía de un país en general.

A pesar del insignificante aumento de potencia en 2014 (27,48 MW), la energía eólica ha sido la segunda fuente de generación eléctrica en España en 2014. España es el cuarto país del mundo por potencia eólica instalada,

tras China, Estados Unidos y Alemania [3]. En la figura 1.1 podemos ver el reparto de la potencia instalada por comunidades autónomas, donde la comunidad de Castilla y León encabeza la lista con una potencia instalada de 5.560,01 MW.

**Reparto de la potencia instalada por Comunidades Autónomas en 2014  
(ordenadas por potencia acumulada)**

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Acumulado 31/12/2013	Potencia 2014	Acumulado 31/12/2014	Nº de parques (*)
Castilla y León	5.560,01		5.560,01	241
Castilla-La Mancha	3.806,54		3.806,54	139
Andalucía	3.337,73		3.337,73	153
Galicia	3.314,12	14,18	3.328,3	161
Aragón	1.893,31		1.893,31	87
Cataluña (**)	1.267,05	1,8	1.268,85	47
Comunidad Valenciana	1.188,99		1.188,99	38
Navarra	1.003,92		1.003,92	49
Asturias	518,45		518,45	21
La Rioja	446,62		446,62	14
Murcia	261,96		261,96	14
Canarias	165,11	11,5	176,61	56
País Vasco	153,25		153,25	7
Cantabria	38,30		38,30	4
Baleares	3,68		3,68	46
<b>TOTAL</b>	<b>22.959,02</b>	<b>27,48</b>	<b>22.986,5</b>	<b>1.077</b>

Figura 1.1. Reparto de la potencia instalada por Comunidades Autónomas en 2014. [3]

La energía eólica no produce emisiones contaminantes durante su producción, como puede ser CO<sub>2</sub>, CO, óxidos de nitrógeno producido en las plantas termoeléctricas. Es inagotable, aunque sí finita, y ayuda a retrasar el agotamiento de combustibles fósiles.

La electricidad producida por un generador evita que se quemen diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1000 Kg de petróleo, evitándose así la emisión de CO<sub>2</sub>.



El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación. Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia al medioambiente.

Para que un parque eólico pueda funcionar correctamente es indispensable la infraestructura y planificación de la obra civil, el montaje y el mantenimiento, así como de los planes correctivos y preventivos estén perfectamente ejecutados. Cualquier retraso de la puesta en marcha por una inadecuada planificación, así como una parada debida a fallos imputables a una mala ejecución de las operaciones de mantenimiento preventivo, supondría unos elevados costes por desconexión de la línea de evacuación a la red. Estos fallos podrían poner en compromiso toda la instalación, y el futuro funcionamiento de esta [27].

## 1.2. OBJETIVOS

El objetivo que se pretende alcanzar con la realización de este trabajo fin de grado, es el desarrollo de la metodología para el estudio de fiabilidad y disponibilidad de un aerogenerador. Esta metodología la aplicaremos a cuatro parques eólicos de la Compañía Eólica de Tierras Altas S.A. ubicados en la provincia de Soria.

Un estudio de fiabilidad tiene como objetivo, entre otros, el poder servir de ayuda al establecimiento de planes de mantenimiento preventivos o la optimización de los periodos establecidos para su realización.

Para poder realizar el estudio de fiabilidad tendremos que clasificar los errores que se producen en cada parque en grupos, ya que el número de errores para cada aerogenerador en el periodo de tiempo estudiado es muy elevado.

El fin de este estudio de fiabilidad será establecer una distribución estadística que se ajuste a cada grupo de errores. Una vez establecida la distribución podremos estimar la supervivencia de cada aerogenerador en un periodo de tiempo dado.

El estudio de disponibilidad pretende señalar el porcentaje de tiempo en el que los aerogeneradores están disponibles para producir energía cuando sean requeridos, ya que necesitan de unas condiciones específicas de viento para su funcionamiento.

Este trabajo también tiene como objetivo el estudio de los grupos más frágiles en cuanto a número de errores y tiempo medio de parada que producen dichos errores. Para ello realizaremos tres *Diagramas de Pareto* para cada aerogenerador.

Se realizará en este trabajo un tercer estudio en el que se evaluará y comparará la velocidad del viento en cada parque eólico en el año 2011.

La idea originar era realizar un estudio de fiabilidad de un periodo de tiempo más amplio pero debido a problemas en la adquisición de datos y en el número tan elevado de errores, que convertía el estudio en una tarea ardua y de larga duración, se decidió realizar dicho estudio sobre los datos del periodo de tiempo de un año completo, 2011.

### 1.3. MOTIVACIÓN

El tema elegido para el trabajo fin de grado, para mí, tiene un doble interés: Personal y profesional.

Personal, porque el tema a estudiar está relacionado con las energías renovables, en concreto, energía eólica. Es un tema que me interesa y en el que me gustaría profundizar más adelante continuando mis estudios. También he podido tomar contacto y familiarizarme con ciertos aspectos del mantenimiento industrial, y conocer la amplitud y las distintas posibilidades que nos da el conocimiento de éste.

Profesional, porque además de poder realizar el trabajo con datos reales sacados de cuatro parques eólicos, he podido hacer prácticas en la empresa *CETASA*, y ver *in situ* la forma de trabajar, la tecnología empleada, la maquinaria, los planes de mantenimiento, etc. Ha sido una experiencia muy enriquecedora a nivel profesional.

### 1.4. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

La documentación y los estudios realizados en este proyecto, así como los resultados y las conclusiones obtenidas se desarrollan a lo largo de 9 capítulos y 3 anexos. A continuación se detalla la información contenida en cada uno de ellos.

El **Capítulo 1** corresponde a esta misma INTRODUCCIÓN.

El **Capítulo 2** expone los tipos y los principios de funcionamiento de los AEROGENERADORES, así como sus componentes básicos.



En el **Capítulo 3** INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, corresponde a la introducción de conceptos y ecuaciones para el desarrollo de los estudios que se llevarán a cabo en los siguientes capítulos.

En el **Capítulo 4** se realiza una DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS de los que partiremos y su tratamiento aplicado para el mejor desarrollo de los estudios posteriores. En este capítulo realizaremos la división de los fallos en grupos.

Ya una vez definidos los conceptos teóricos y los documentos de los que partimos, en el **Capítulo 5** se realizan unos DIAGRAMAS DE PARETO. En él se analizan los fallos más repetitivos, su porcentaje de aparición y los fallos que mayor indisponibilidad producen de cada aerogenerador en el año 2011.

Seguidamente en el **Capítulo 6** se realiza un ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO del año 2011 de los cuatro parques eólicos.

En el **Capítulo 7** se realiza el ESTUDIO DE FIABILIDAD de cada aerogenerador de los cuatro parques en el año 2011. Por cada grupo de fallos estudiado intentaremos sacar la función estadística a la que se ajustan y la posible obtención de la supervivencia de los grupos de fallos.

En el **Capítulo 8** se realiza el ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD de los aerogeneradores de los cuatro parques en el año estudiado, 2011.

Por último, se encuentra el **Capítulo 9** CONCLUSIONES dónde se recogen las conclusiones a las que se ha llegado tras el estudio realizado y se presentan otras actividades que pueden realizarse para completar o hacer más completo este trabajo.

Los anexos incluidos en este trabajo incluyen la siguiente información:

En el Anexo A, incluiremos la DESCRIPCIÓN DE LOS PARQUES EÓLICOS de CETASA y las características técnicas de sus aerogeneradores.

En el Anexo B se incluyen los GRÁFICOS EN N de los diagramas explicados en el capítulo 6.

En el Anexo C se incluyen las tablas que recogen las distribuciones estadísticas de los grupos de fallos y sus parámetros característicos.

## **1.5. CONSIDERACIONES SOBRE EL TRABAJO REALIZADO**

El trabajo se realiza con colaboración de la empresa *CETASA* (Compañía Eólica de Tierras Altas S.A.) donde obtengo toda la información de los cuatro parques eólicos de dicha empresa.

*CETASA* proporciona los datos necesarios para el estudio de fiabilidad y disponibilidad y pone a nuestra disposición la posibilidad de descargar datos a mayores para ampliar la información. *CETASA* también ha proporcionado una ayuda académica y profesional importante por parte de sus miembros para la realización de algunos apartados incluidos en el trabajo.

Algunas de las limitaciones que hemos encontrado han sido la falta de datos en ciertos periodos de tiempo, lo que ha condicionado el estudio del trabajo.

El software utilizado para la realización del estudio de fiabilidad es *STATGRAPHICS*, proporcionado gratuitamente por la Universidad de Valladolid.

# 2. AEROGENERADORES

---

## 2.1. DEFINICIÓN DE AEROGENERADOR:

Un **aerogenerador** es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.[29]

## 2.2. TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS.

Una primera clasificación de las turbinas eólicas se puede realizar atendiendo al tipo de rotor eólico y la disposición de su eje de giro. Así, las turbinas se clasifican en turbinas con rotor de eje vertical y turbinas con rotor de eje horizontal.

**Turbinas eólicas de eje vertical:** Las turbinas con rotores de eje vertical tienen la ventaja fundamental de que no precisan ningún sistema de orientación activo para captar la energía contenida en el viento. Presentan la ventaja añadida, con respecto a las turbinas de eje horizontal, de disponer el tren de potencia, el generador eléctrico y los sistemas de control a nivel del suelo.

**Turbinas eólicas de eje horizontal:** en este caso los rotores se caracterizan porque hacen girar sus palas en dirección perpendicular a la velocidad del

viento incidente. La velocidad de giro de las turbinas de eje horizontal sigue una relación inversa al número de sus palas, de forma más precisa al parámetro denominado *solidez* que indica el cociente entre la superficie ocupada por las palas y la superficie barrida por ellas. Así, las turbinas de eje horizontal se clasifican en turbinas con rotor *multipala* o *aeroturbinas lentas* y rotor tipo *hélice* o *aeroturbinas rápidas*.

#### Aeroturbinas lentas.

Los rotores multipala se caracterizan por tener un número de palas que puede variar de 6 a 24 y por lo tanto con una solidez elevada. Presentan elevados pares de arranque y una reducida velocidad de giro. La velocidad lineal en la punta de la pala de estas máquinas, en condiciones de diseño, es del mismo orden que la velocidad del viento incidente. Estas características hacen que la aplicación fundamental de estas turbinas haya sido tradicionalmente el bombeo de agua. No se utilizan en aplicaciones de generación de energía eléctrica debido a su bajo régimen de giro.

#### Aeroturbinas rápidas.

Los rotores tipo hélice giran a una velocidad mayor que los rotores multipala. La velocidad lineal en la punta de la pala de estas máquinas varía en un margen de 6 a 14 veces la velocidad del viento incidente en condiciones de diseño. Esta propiedad hace que las aeroturbinas rápidas sean muy apropiadas para la generación de energía eléctrica, ya que el elemento mecánico que acondiciona la velocidad de giro de la turbina con la velocidad de giro del generador es menor en tamaño y coste. Los rotores tipo hélice presentan un par de

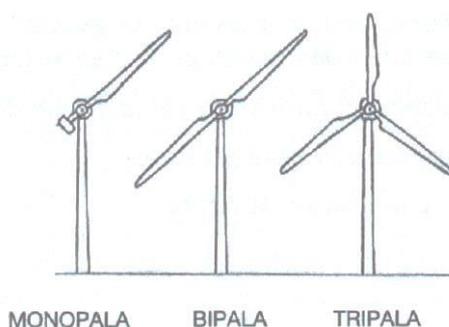


Figura 2.1. Rotores tipo hélice. [2]

arranque reducido que en la mayoría de las aplicaciones, es

suficiente para hacer girar el rotor durante el proceso de conexión.

El número de palas del rotor, mostrado en la figura 2.1, puede variar existiendo rotores tipo hélice monopala, bipala y tripala.

Dentro de los rotores tipo hélice los más utilizados son los de tres palas, debido fundamentalmente a su mejor estabilidad estructural y aerodinámica, menor emisión de ruido y mayor rendimiento energético frente a los rotores de una o dos palas.

Otra clasificación adicional que se puede realizar con los aerogeneradores que utilizan rotores de tipo hélice es su disposición frente a la dirección del

viento incidente. Así, las turbinas pueden diseñarse para que funcionen en la configuración de *barlovento* o *sotavento*. Las máquinas en posición de barlovento necesitan un sistema de orientación activo ya que la velocidad del viento inicialmente incide sobre el rotor eólico y posteriormente sobre la torre. Por el contrario, las máquinas orientadas a sotavento utilizan un sistema de orientación pasivo que se basa en inclinar ligeramente las palas para el lado contrario a la torre.

La configuración a sotavento es la menos elegida ya que aparecen elevadas cargas aerodinámicas sobre la máquina. Cuando la pala pasa por la zona de influencia de la torre no recibe viento y por lo tanto no transmite par aerodinámico, lo que da lugar a fluctuaciones de potencia y fátiga en los materiales.

[24]

Las dos configuraciones aparecen representadas en la figura 2.2.

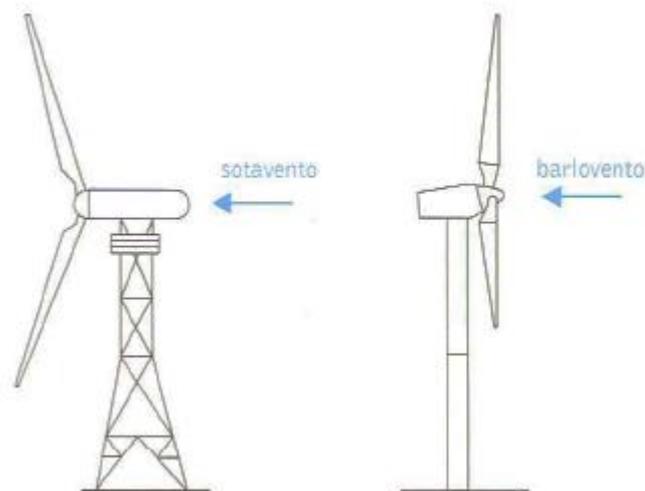


Figura 2.2. Disposición del rotor respecto a la dirección del viento incidente. [24]

Las turbinas que tenemos en el parque eólico de Oncala, Magaña, Castilfrío y El Cayo son de eje horizontal de rotor tipo hélice tripala. En los apartados siguientes nos vamos a centrar en las diferentes partes de este tipo de aerogeneradores.

### 2.3. COMPONENTES BÁSICOS DE UN AEROGENERADOR.

Nos centraremos en la tecnología de aerogeneradores de eje horizontal, de tres palas orientadas a barlovento. Estas características son comunes para los cuatro parques eólicos que estudiaremos, y además, es la configuración básica que ofrecen la mayoría de los fabricantes de aerogeneradores.

Para entender el papel fundamental de cada parte del aerogenerador es importante hacer notar cuál es el principio de funcionamiento de estos sistemas y como es el proceso de conversión de la energía que se produce en ellos.

Cuando la velocidad del viento que incide sobre un aerogenerador aumenta, lo hacen también las fuerzas que se producen sobre las palas. Estas fuerzas desarrollan par mecánico y esfuerzos sobre los elementos mecánicos del aerogenerador. El par mecánico desarrollado por la turbina, cuando está girando a una determinada velocidad, produce una potencia mecánica que se transmite al generador y se convierte finalmente en energía eléctrica. En este proceso de conversión de energía intervienen fundamentalmente: el rotor eólico que es el elemento que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica. El tren de potencia que transmite la potencia mecánica desarrollada por la turbina al generador eléctrico mediante una caja de multiplicación de velocidad, y por último el generador eléctrico que es el dispositivo encargado de transformar la energía mecánica en eléctrica. Algunos sistemas disponen, entre el generador y la red eléctrica, de convertidores eléctricos cuya función es por una parte controlar la velocidad de giro del generador y por otra accionar la energía eléctrica generada.[24] En la figura 2.3 y en la figura 2.4 se muestran las diferentes partes del aerogenerador que definiremos a continuación.

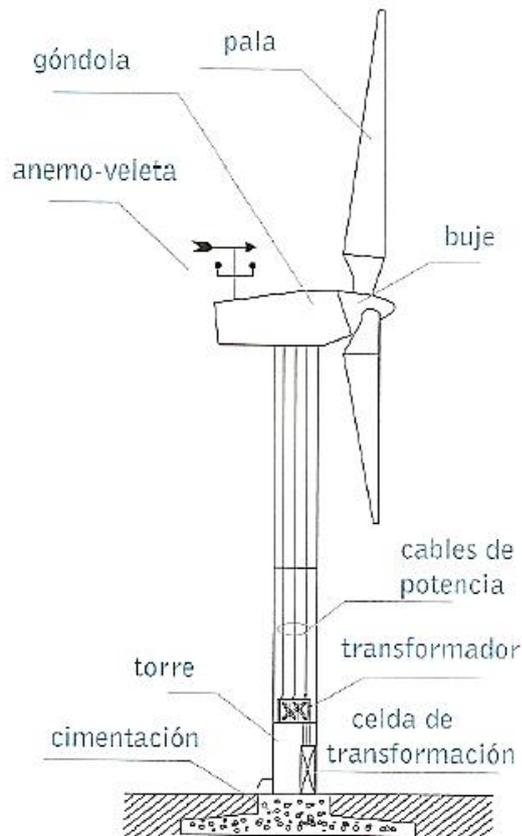


Figura 2.3. Partes de un aerogenerador. [8]

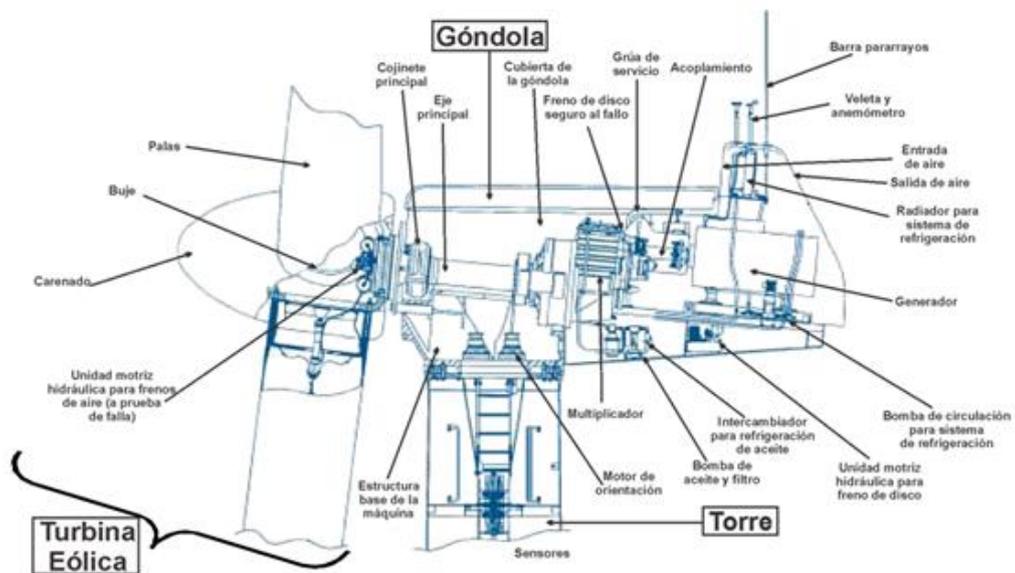


Figura 2.4. Partes de un aerogenerador. [16]

### 2.3.1. ROTOR EÓLICO

Se entiende por rotor eólico el conjunto de componentes del aerogenerador que giran fuera de la góndola. Estos componentes son las palas, el buje y el mecanismo de cambio de paso de la pala, si lo tuviese. [8]

Las turbinas eólicas orientadas a barlovento presentan un ángulo de conicidad, que es el ángulo que forma el eje longitudinal de la pala con respecto al plano normal del eje de giro del rotor. Esta disposición de la pala hace que las fuerzas centrífugas originadas en la pala contrarresten los esfuerzos aerodinámicos del empuje. [8]

Otro de los parámetros importantes relacionados con el rotor eólico es la distancia libre entre la punta de la pala y la torre. Esta distancia depende, del ángulo de conicidad, de la deformación elástica de la pala cuando está cargada y del ángulo de inclinación del eje de rotación. Este ángulo de inclinación aumenta la distancia libre entre la pala y la torre, pero debe ser necesariamente pequeño, ya que reduce el área barrida por el rotor e introduce una componente vertical de par que tiende a girar la góndola. Este ángulo se utiliza para evitar posibles accidentes en los que la pala puede chocar contra la torre. [8]

El buje, por su parte, es el elemento de unión de las palas con el sistema de rotación. Los bujes se pueden clasificar en dos tipos: *bujes rígidos* y *bujes basculantes*. En los bujes rígidos la pala se atornilla al buje y este se fija rígidamente al eje de giro. Los bujes basculantes están conectados al tren de potencia a través de un apoyo que les permite pivotar libremente.

#### 2.3.1.1. Mecanismo de cambio de paso de pala

Los aerogeneradores de mediana y gran potencia (> 500kW) utilizan mecanismos de cambio del ángulo de paso de la pala para controlar el par de arranque y el par de frenado durante las paradas del aerogenerador. Este sistema también se utiliza para limitar potencia cuando la turbina funciona a plena carga. [9]

El ángulo de paso de pala, se define como el ángulo que forma la línea de sustentación nula de un perfil de la pala con respecto al plano de giro del rotor.

Otro mecanismo de control aerodinámico que utilizan los sistemas que no incorporan sistemas con cambio de paso son los *aerofrenos*. Estos dispositivos se denominan también frenos aerodinámicos en la punta de la pala. Su principio de funcionamiento se basa en girar el ángulo de calado de la punta de la pala un valor cercano a 90 grados, esto hace que aumenten considerablemente las fuerzas de arrastre y se reduzcan las de sustentación,

lo que da lugar a que aparezcan pares de frenado que tienden a reducir la velocidad de giro de la máquina. [9]

En la figura 2.5 se representan los 2 tipos de mecanismos de control aerodinámico que tenemos en las palas del aerogenerador.

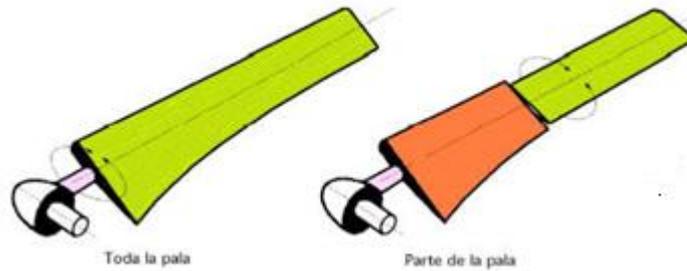


Figura 2.5. Sistema de regulación de las palas. [25]

- **Elemento de conexión con el buje.**

En el mecanismo de cambio de paso el elemento que conecta la pala con el buje debe permitir el giro de esta alrededor de su eje longitudinal. Debido a que los ángulos y la velocidad de giro de la pala son reducidos, los sistemas de soporte son habitualmente rodamientos de bolas, que están sometidos a cargas elevadas producidas por momentos de flexión y torsión, incluso cuando los movimientos de giro son reducidos.

Cuando el sistema de cambio de paso no gira toda la pala, sino solamente la punta, el rodamiento y el accionamiento se encuentran situados a cierta distancia de la raíz de pala. Este diseño presenta como problemas añadidos: la ubicación de estos elementos en un espacio reducido, el aumento del peso de la pala y el desplazamiento de su centro de gravedad hacia posiciones más alejadas de la raíz.

- **Accionamiento del sistema de giro.**

El accionamiento del sistema de giro consta de un actuador, eléctrico o hidráulico, que trasmite el movimiento de giro a la pala directamente o a través de un elemento adicional como ruedas dentadas, barra de desplazamiento, etc.

Los sistemas de cambio de paso convencionales de las grandes turbinas constan de un actuador situado en el buje que se conecta a un grupo de presión hidráulico ubicado en la góndola. La conexión entre ambos elementos se realiza a través de un circuito hidráulico que atraviesa la caja multiplicadora y el eje principal que debe ser hueco. La unión entre las partes fijas y giratorias del circuito hidráulico se realizan en un

elemento de transmisión giratorio convencionalmente sellado para impedir fugas de aceite.

Los elementos del accionamiento hidráulico pueden estar ubicados en la góndola. Este sistema no utiliza elementos de transmisión giratorios y su modo de funcionamiento es como sigue; el grupo hidráulico controla la

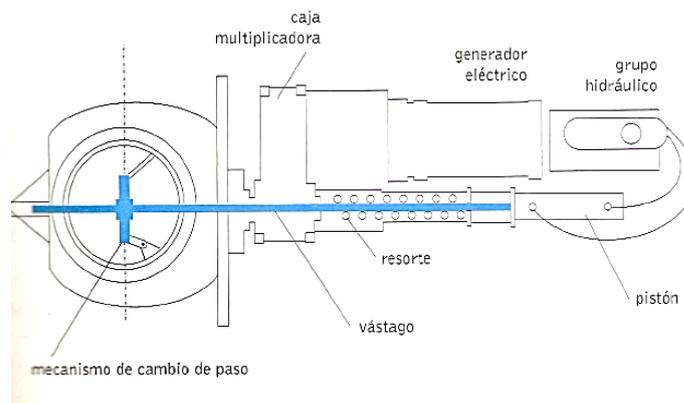


Figura 2.14. Mecanismo de cambio de paso hidráulico con el accionamiento de giro en la góndola. [24]

presión de un pistón que acciona un vástago en cuyo extremos se conectan unas barras que convierten el desplazamiento axial del vástago en movimiento de giro de las palas. El pistón ejerce su presión contra un resorte de tal forma que si el pistón pierde presión el resorte acciona las palas poniéndolas en posición de bandera y parando así la aeroturbina. Este concepto de seguridad pasiva es muy importante ya que garantiza la parada de la máquina en caso de avería del grupo hidráulico. Un aspecto importante de este sistema es que los ejes de giro primario y secundario deben estar necesariamente desalineados para permitir la ubicación del accionamiento de las palas [24]. En la figura 2.14 se muestra un esquema del funcionamiento del mecanismo de cambio de paso hidráulico con el accionamiento de giro en la góndola

Recientemente se están utilizando motores eléctricos para gobernar el giro de las palas, pero a diferencia de los sistemas presentados en el apartado anterior los sistemas eléctricos de cambio de paso suelen ser individuales, ya que un sistema colectivo de estas características es más complicado y costoso que un sistema hidráulico.

Los sistemas individuales de cambio de paso de pala presentan una ventaja fundamental de aportar mayor fiabilidad, ya que poniendo una o dos palas en posición de bandera es posible parar el rotor eólico en caso de avería. [24]

Las aeroturbinas de los parques de Castilfrío y el Cayo utilizan mecanismos hidráulicos de cambio de ángulo de paso de la pala individuales para cada pala, mientras que las aeroturbinas de los parques de Oncala y Magaña utilizan como sistema de control aerodinámico los aerofrenos.

### 2.3.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema mecánico de transmisión o tren de potencia lo contribuyen todos los elementos y componentes de la turbina que transmiten par mecánico al eje de giro. En la mayoría de los diseños, la velocidad de giro de la turbina no se corresponde con la velocidad de giro del generador y es necesario incluir una caja multiplicadora. El cuerpo de baja velocidad de este elemento se acopla al rotor eólico a través del eje primario o eje lento y el cuerpo de alta velocidad al generador eléctrico mediante el eje secundario o eje rápido. Además, en el tren de potencia se incluyen los apoyos del sistema de giro con la estructura de la góndola y el freno mecánico, cuya función es bloquear la turbina en operaciones de mantenimiento y eventualmente contribuir a paradas de emergencia.

Las funciones del tren de potencia no se limitan a transmitir la potencia mecánica con el mayor rendimiento posible, sino que sus componentes deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de empuje transmitidos por el rotor eólico. Por otra parte, un buen diseño del tren de potencia debe garantizar que todos sus elementos sean de fácil montaje y sustitución en caso de avería. [24]

- Diseño estándar

El diseño más habitual del tren de potencia consiste en ubicar la caja multiplicadora y el generador eléctrico detrás del rotor eólico y dentro de la góndola. Otros componentes auxiliares como los motores de orientación o el grupo hidráulico se ubican también en la góndola. La principal ventaja de esta configuración es que se puede considerar como la más compacta posible. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes: en primer lugar, el peso total del tren de potencia se concentra en la parte superior de la torre lo que condiciona de forma definitiva del diseño estructural de toda la turbina. Por otra parte, los aspectos relativos a accesibilidad y mantenimiento de componentes se hacen más complejos.

Los aerogeneradores de los cuatro parques poseen la configuración estándar.

- Generador de eje vertical en la zona superior de la torre:

Una forma de reducir el peso de la góndola es utilizar un generador eléctrico de eje vertical en la zona superior de la torre. Con esta configuración se evita el problema de retorcimiento de los cables de potencia durante los procesos de orientación, sin embargo las desventajas de esta configuración son

numerosas, ya que es necesario utilizar una caja multiplicadora más compleja con engranajes cónicos. Además, el par que opone el generador presenta una componente vertical que puede afectar al rotor durante paradas de emergencia.

- Generador en la base de la torre:

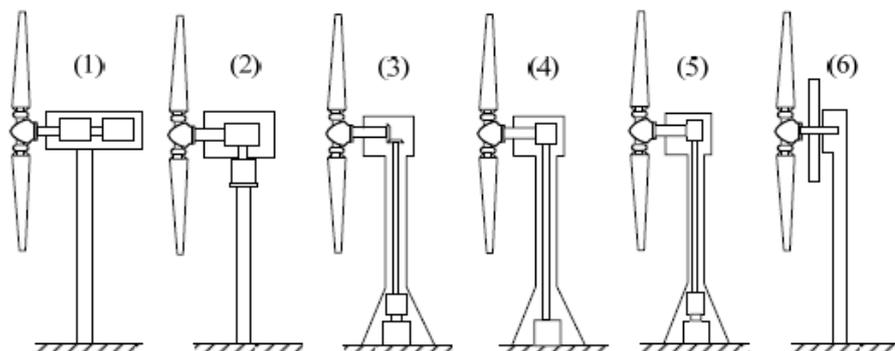
La solución más radical para solucionar el problema de peso excesivo en la góndola es ubicar los componentes del tren de potencia en la base de la torre. Esta opción implica que el eje dentro de la caja multiplicadora debe tener una longitud similar a la altura de la torre. Una alternativa a este diseño es mantener la caja multiplicadora en la góndola y el generador en la parte inferior de la torre. En cualquier caso, la excesiva longitud de algunos de los ejes de acoplamiento hace que hayan aparecido problemas de vibraciones en los escasos prototipos de estas características.

- Generador directamente acoplado:

Los diseños basados en generadores multipolares directamente acoplados al rotor eólico que no utilizan caja multiplicadora.

[24]

La figura 2.5 ilustra los diferentes diseños del tren de potencia.



**Figura 2.5.** Partes de un aerogenerador. 1) Configuración estándar. 2) Generador de eje vertical en la zona superior de torre. 3) Generador y caja multiplicadora en la zona inferior de la torre. 4) Generador en la base de la torre y caja multiplicadora en la zona superior de la torre. 5) Generador en la base de la torre y dos cajas multiplicadoras separadas. 6) Generador directamente acoplado al rotor eólico. [24]

### 2.3.2.1. *Apoyo del sistema de transmisión*

El diseño de los apoyos sobre los que se sustentará el eje de giro del rotor eólico y su integración en el tren de potencia y en la estructura de la góndola es uno de los puntos fundamentales del diseño mecánico de la turbina, ya que este elemento soporta buena parte de las cargas que posteriormente se transmiten a la torre. A continuación, se indican diferentes configuraciones relativas a los apoyos del tren de potencia. [24]

- Eje del rotor con apoyos separados:

El eje del rotor se monta sobre dos cojinetes unidos a una estructura o bancada solidaria a la torre mediante apoyos longitudinales y transversales. Todas las cargas del rotor se transmiten a la torre a través de este elemento. Con esta disposición la caja multiplicadora no soporta ninguna carga excepto el par transmitido por el eje de rotación. La ventaja fundamental de este diseño es que emplea cojinetes y cajas multiplicadoras convencionales, sin embargo presenta el inconveniente de ser una configuración demasiado pesada. Este tipo de apoyo aparece en la figura 2.6, imagen (1).

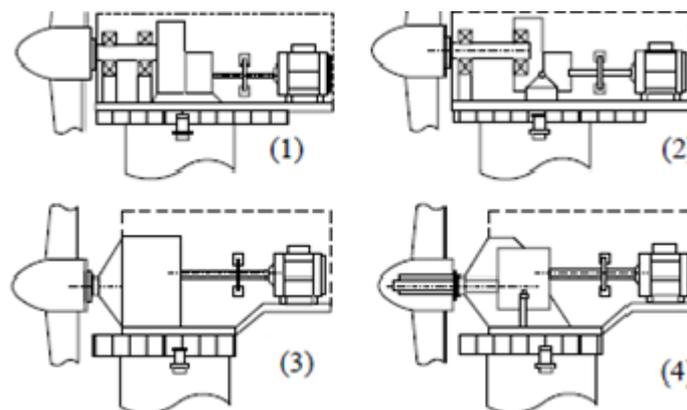
Una alternativa a este diseño es integrar el cojinete posterior en la estructura de la caja multiplicadora. Con esta variante la distancia entre cojinetes se reduce, lo que implica una reducción en las cargas transmitidas a la bancada de unión con la torre. En esta configuración el multiplicador de velocidad se monta con dos apoyos adicionales sobre la bancada, de tal forma que el tren de potencia se apoya sobre tres puntos de suspensión. La ventaja fundamental de esta configuración es que se reduce notablemente el peso de la bancada y mejora su montaje en la góndola.

- Eje del rotor integrado en la caja multiplicadora:

El rotor eólico se apoya completamente sobre la estructura de la caja multiplicadora. El coste de este componente se incrementa y el diseño debe garantizar que las cargas que recibe su estructura no afecten a la función de transmisión. Está representando en la figura 2.6, dibujo 2).

- Eje del rotor conectado a un soporte fijo:

El rotor se une a un eje soporte fijo conectado a la torre a través de una brida cuya función es absorber los momentos flectores transmitidos por el rotor eólico. Este diseño evita los momentos flectores tan acentuados a los que están sometidos los tipos anteriores y que implican diseños muy robustos de todos los componentes del tren de potencia.



**Figura 2.6.** Esquema de apoyos del tren de potencia en aeroturbinas. 1) Eje principal con cojinetes separados. 2) Cojinete principal en la góndola y cojinete posterior integrado en la caja multiplicadora. 3) Eje del rotor integrado en la caja multiplicadora. 4) Cojinete principal apoyado sobre eje hueco. [24]

El sistema de apoyo de los tres tipos de aerogeneradores que tenemos en los parques eólicos sería el cojinete principal apoyado en la góndola y el cojinete posterior integrado en la caja multiplicadora.

En la figura 2.7 aparece una fotografía, tomada en el almacén de CETASA, del eje lento del aerogenerador de Made Serie 800 AE52.

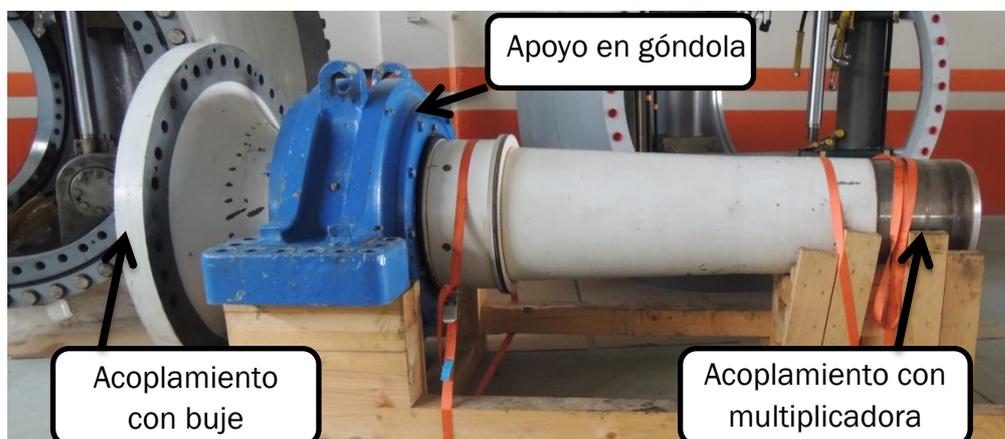


Figura 2.7. Eje lento de aerogenerador Made Serie 800 AE52.

### 2.3.3. FRENO MECANICO

La función principal del freno mecánico es mantener bloqueado el eje de giro durante las operaciones de puesta en marcha y mantenimiento del aerogenerador. Además del freno mecánico, es práctica habitual durante los periodos de reparación impedir el giro del rotor eólico mediante los pernos colocados entre elemento y la góndola. Cuando el freno mecánico se diseña únicamente para bloquear el rotor, el par que debe soportar, es el transmitido por el rotor eólico puesto en bandera en condiciones de viento extremo y con el eje de giro bloqueado.

Además de la función de bloqueo, algunos diseños de frenos mecánicos se pueden emplear para contribuir al frenado dinámico del rotor eólico durante procesos de parada de emergencia.

La constitución física de este componente consiste en un disco que gira solidario al eje de transmisión y unas zapatas de frenado que rozan con el disco cuando se activan ya sea por vía eléctrica, hidráulica o neumática. Uno de los aspectos más relevantes en el diseño del freno mecánico es su ubicación en el tren de potencia. Este componente se puede colocar tanto en el eje lento como en el eje rápido. En la mayoría de los diseños el freno mecánico está colocado en el eje que acopla la caja multiplicadora con el generador eléctrico, ya que en este eje la potencia mecánica generada por el rotor se transmite con una elevada velocidad de giro y un par reducido, lo que

implica diámetros de disco de frenado reducidos. Sin embargo, este diseño presenta ciertos inconvenientes: por un lado no se garantiza el bloqueo del rotor eólico cuando por accidente se desacopla del tren de potencia al eje lento de la caja multiplicadora. Por otra parte, en el caso de bloqueo del rotor, los dientes de la caja multiplicadora están sometidos a esfuerzos producidos por la variabilidad del viento, aun cuando el giro se impide desde el eje de alta velocidad. Este problema da lugar a desgastes de los engranajes de la caja multiplicadora. Para solucionar estos problemas, algunos fabricantes han optado por no bloquear completamente el tren de potencia, incluso durante los periodos de mantenimiento.

Otra opción sería colocar el freno mecánico en el eje de baja velocidad. Esta ubicación es muy apropiada en turbinas de reducida potencia, sin embargo, para máquinas de elevada potencia el tamaño del freno en esta posición es excesivamente grande, incluso en el caso que estuviera diseñado para funciones de bloqueo.

[24]

Los aerogeneradores de los cuatro parques tienen frenos de disco hidráulicos ubicados en el eje rápido.

#### 2.3.4. CAJA MULTIPLICADORA

La caja multiplicadora como elemento del tren de potencia aparece como una opción de diseño habitual ya desde las primeras turbinas eólicas concebidas para producir energía eléctrica. La necesidad de este elemento se justifica por el diferente régimen de giro que requiere un rotor eólico y un generador eléctrico de diseño convencional.



Figura 2.8. Caja multiplicadora de aerogenerador Negmicon.

La velocidad de giro de la turbina depende en gran medida del diseño aerodinámico de las palas. Los modernos rotores eólicos, ya sean de velocidad fija o variable, se diseñan con velocidades lineales en la punta de la pala que pueden variar entre 70 y 80 m/s. Considerando constante este parámetro, es inmediato concluir que cuanto mayor sea el diámetro de la

máquina y por lo tanto su potencia asignada, menor ha de ser la velocidad de giro del rotor eólico. [24]

Existen generadores multipolares que se adaptan al régimen de giro del rotor eólico sin necesidad de cajas multiplicadoras.

En la figura 2.8 está representada una caja multiplicadora en el almacén de CETASA de los aerogeneradores Negmicon.

#### 2.3.4.1. Tipos de cajas multiplicadoras

Los engranajes de las cajas multiplicadoras pueden ser de dos tipos: **engranajes rectos** o **helicoidales**. Los primeros se utilizan en cajas multiplicadoras de ejes paralelos y presentan una relación de multiplicación máxima en cada etapa de 1:5. Los engranajes helicoidales tienen un diseño más sofisticado que los engranajes rectos y se emplean en cajas multiplicadoras de tipo planetario. La relación de multiplicación en cada etapa puede ser como máximo de 1:12.

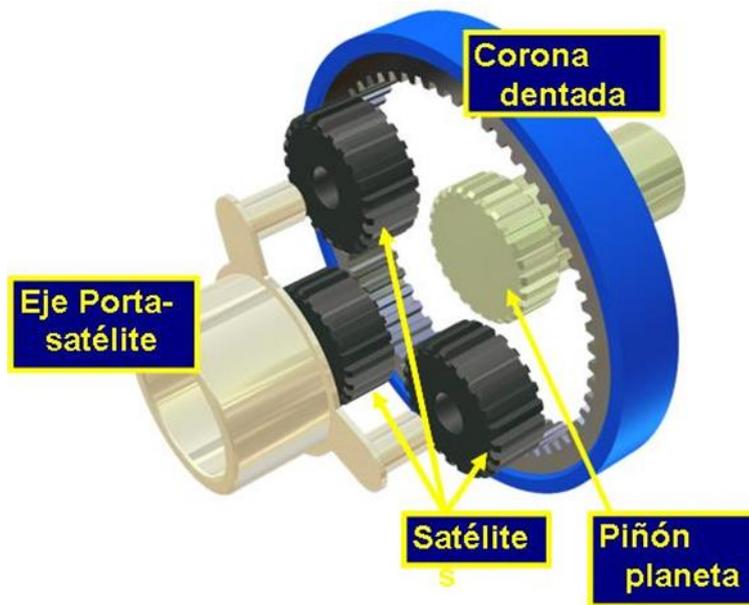


Figura 2.9. Multiplicadora tipo planetario. [21]

En general, las cajas multiplicadoras de ejes paralelos son más sencillas de diseño y por lo tanto más baratas que los diseños planetarios. Sin embargo, ante igualdad en la relación de transmisión y en la potencia transferida, los diseños con ejes planetarios son más robustos y menos pesados, lo que hace que esta opción sea la más utilizada en máquinas de gran potencia [23]. La figura 2.9 representa esquemáticamente el mecanismo utilizado en cajas multiplicadoras de ejes planetarios.



Figura 2.10. Corona, eje Porta-satélites y satélites de caja multiplicadora de aerogenerador NM 48/750.

En la figura 2.10 aparecen imágenes, tomadas en el almacén de CETASA, de las partes de un sistema planetario utilizado por las cajas multiplicadoras que incorporan los aerogeneradores de Negmicon.

Los aerogeneradores de los cuatro parques poseen cajas multiplicadoras de tipo planetario de ejes paralelos. La relación de multiplicación total de las cajas multiplicadoras de los parques de Oncala y Magaña es 1:67,5 frente a 1:58,34 de las cajas multiplicadoras de los parques de El Cayo y Castilfrío.

#### 2.3.4.2. Dimensionamiento

Para que el fabricante de cajas multiplicadoras sea capaz de realizar un diseño adecuado de los engranajes, ejes y apoyos, es necesario que conozca las solicitaciones mecánicas y esfuerzos que sus componentes han de transmitir y soportar durante toda la vida útil del componente. Esta información previa se conoce tras un detallado estudio e cargas que el diseñador del aerogenerador debe proporcionar.

El parámetro de diseño más importante es el par transmitido por el eje de baja en las condiciones nominales, sin embargo este par está sujeto a variaciones importantes. Una forma de considerar las variaciones de par es mediante el *espectro de carga* que consiste en representar la magnitud y fase de estas pulsaciones de par durante la vida de operación de la caja multiplicadora. El diseño ha de realizarse de tal forma que la línea de resistencia a fatiga del material en función del número de ciclos sea superior en todo momento al espectro de carga. [24]

#### 2.3.4.3. Rendimiento

Los modernos multiplicadores de velocidad se caracterizan por las pocas pérdidas que presentan durante todo el proceso de transmisión. Estas pérdidas mecánicas se deben a la fricción entre dientes del engranaje y al flujo de aceite necesario para la lubricación. En las pérdidas mecánicas se incluyen también las debidas a la fricción entre los rodamientos y los cojinetes de apoyo. La irreversibilidad de estos procesos da lugar a la transmisión de calor que puede llegar a ser un problema, sobre todo en cajas multiplicadoras con diseño planetario de elevada potencia y muy compactas. Por esta razón, en muchos casos es necesario utilizar sistemas de refrigeración por aire o agua.

El rendimiento mecánico, en principio depende de: el número y tipo de etapas multiplicadoras, la potencia mecánica transmitida y la velocidad de giro. [24]

En la figura 2.11 se representa el rendimiento de la multiplicadora frente a la potencia transmitida frente a la nominal en función de la velocidad de giro.

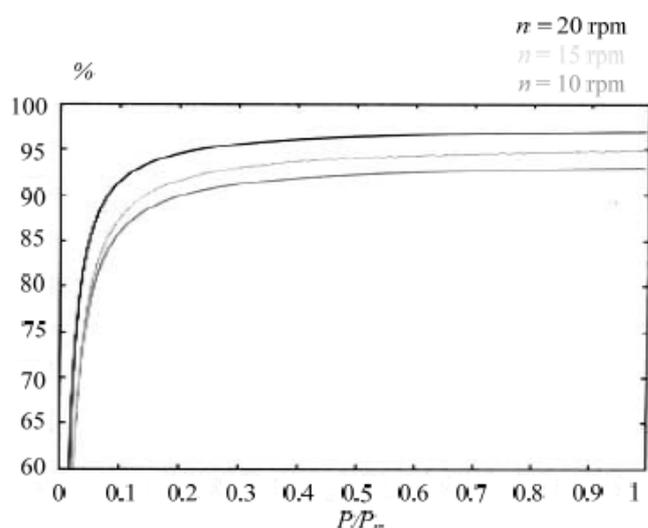


Figura 2.11. Rendimiento de una caja multiplicadora en función de la velocidad de giro y la potencia transmitida frente a su valor nominal. [24]

### 2.3.5. TORRE

La torre es uno de los componentes principales de los aerogeneradores de eje horizontal. Considera de forma aislada, la torre representa un elemento convencional del aerogenerador, sin embargo su diseño estructural requiere un conocimiento general del funcionamiento del sistema.

Uno de los parámetros de diseño más importantes de la torres es, lógicamente, su altura. Cuanto mayor es la altura de la torre, la producción de energía de la turbina aumenta



Figura 2.12. Aerogenerador con torre en celosía. [6]

siempre que el perfil vertical de velocidad del viento en el emplazamiento sea creciente. Sin embargo, un aumento de la altura de la torre implica un aumento del coste del componente y una mayor dificultad para la instalación de equipos. Así pues, la elección de la altura de la torre responde a una solución de compromiso entre las ventajas e inconvenientes que supone aumentar este parámetro de diseño.

Por otra parte, la torre debe presentar una rigidez suficiente para soportar las cargas de empuje transmitidas por el rotor eólico. Además, el diseño estructural de la torre debe fijar su frecuencia propia. Como se indicará posteriormente, el diseño estructural de la torre depende en buena medida de los materiales utilizados en su fabricación. [24]

#### 2.3.5.1 Tipos de Torres:

- **Torre en celosía:** este tipo de torre, mostrada en la figura 2.12, consiste en una estructura metálica en la que se sustenta el rotor eólico y los componentes mecánicos de la transmisión. Este tipo de diseños fue el más empleado en las primeras generaciones de aeroturbinas. Presentan la ventaja de tener un coste reducido, pero tienen la accesibilidad compleja que dificulta las tareas de mantenimiento. [9]

- **Torre tubular de acero:** este tipo de torres es el más utilizado en la actualidad. Las primeras torres tubulares de acero presentaban gran rigidez estructural, se diseñaban de tal forma que la frecuencia natural de flexión de la torre fuera superior a la frecuencia de giro de la pala (1P). Este diseño rígido da lugar a torres excesivamente pesadas y caras, en especial cuando aumenta su altura. Las nuevas torres tubulares de acero se diseñan de tal forma que la frecuencia natural de flexión es inferior a 1P. El criterio de fabricación más sencillo de las torres tubulares es mediante la unión de varios tramos cilíndricos. El número de tramos habitual suele ser dos o tres, para alturas de torre superiores a 60m.



Figura 2.13. Torre tronco-cónica de acero del parque eólico El Cayo.

En las torres de altura elevada el diseño suele ser tronco-cónico con chapa de acero de espesor decreciente con altura para reducir peso. [9]

- **Torre tubular de hormigón:** la configuración de la torre de hormigón se puede realizar o bien con hormigón armado y hormigón pretensado. El hormigón pretensado presenta mejores características para los diseños de torres de elevada rigidez que los hormigones armados y es una opción económicamente competitiva con las torres tubulares de acero cuando éstas se han diseñado con elevada rigidez. [9]
- **Torre tubular de acero atirantada:** Las máquinas con rotor a sotavento permiten torres tubulares de acero más esbeltas. Éstas son ancladas al suelo con cables de acero, en algunos casos con tirantes rígidos para soportar la rigidez a flexión requerida. Las torres tubulares de acero atirantadas son usadas para rotores a sotavento particularmente cuando la altura de la torre es muy grande comparada con el diámetro del rotor. A pesar de su relativa masa global pequeña, las torres atirantadas no tienen muy buena relación coste- eficiencia. Los tirantes y los anclajes requeridos en adición aumentan el coste total. [9]

#### *2.3.5.1. Accesibilidad*

Los criterios de accesibilidad tanto al rotor eólico como a los equipos embarcados en la góndola son muy importantes en los diseños actuales. Para turbinas pequeñas, con torres de altura inferior a 15m, existen escaleras exteriores para acceder a la maquinaria. Cuando la altura de la torres es mayor, es común utilizar escaleras interiores con plataformas intermedias cuando la altura es superior a 30m. Las turbinas actuales de gran potencia con alturas superiores a 60m disponen, en algunos casos, de ascensor para acceder a la góndola. Evidentemente, este accesorio, casi imprescindible para tareas de mantenimiento, supone un coste adicional del aerogenerador.

[24]

Las torres de los cuatro parques son torres tubulares de forma tronco-cónica. El acceso al rotor se realiza a través de una escalera interior con plataformas intermedias, no disponen de ascensor para acceder a la góndola. En la figura 2.13 se muestra una fotografía de la torre de un aerogenerador del parque eólico El Cayo.

#### **2.3.6. MECANISMO DE ORIENTACIÓN**

El mecanismo de orientación es el dispositivo que se emplea para girar automáticamente el rotor eólico y la góndola de tal forma que la dirección del

viento incidente sea lo más perpendicular posible al plano de giro de las palas.

Este sistema de orientación es activo ya que utiliza motores eléctricos o sistemas hidráulicos para efectuar el movimiento del rotor, a diferencia de otros sistemas denominados pasivos, donde las propias fuerzas aerodinámicas realizan las funciones de orientación.

Desde un punto de vista funcional, el sistema de orientación se podría considerar como un sistema independiente sin embargo, constructivamente une la góndola con la parte superior de la torre.

Los dispositivos que se utilizan para hacer girar el rotor eólico son básicamente de dos tipos, **hidráulicos o eléctricos**. Los sistemas hidráulicos se emplearon en las primeras generaciones de grandes turbinas, presentaban como ventaja su reducido coste y tamaño en comparación con la opción motor eléctrico, reductor de velocidad y convertidor electrónico. Sin embargo, esta última opción es la que se emplea hoy en día de forma mayoritaria, ya que: su coste se ha reducido significativamente, permite una regulación muy precisa, requiere un menor mantenimiento y ofrece una rigidez mayor que los sistemas hidráulicos.

Habitualmente los sistemas de orientación disponen de dos motores, uno de giro a derechas y otro de giro a izquierdas. Estos motores accionan un piñón que mueve el engranaje tipo corona sobre el que está unido rígidamente la góndola. Para evitar que los motores eléctricos soporten el momento de orientación originado por las fuerzas aerodinámicas durante la maniobra de giro o cuando el viento cambia de orientación bruscamente, es habitual incorporar en el sistema unos frenos.

[24]

### 2.3.7. GENERADOR ELÉCTRICO

El generador es el elemento central del sistema eléctrico de los aerogeneradores y el componente a partir del cual se dimensionan los restantes elementos y sistemas de control y supervisión. En él se realiza la conversión de la energía mecánica disponible en el eje del rotor del aerogenerador, en energía eléctrica.

Los generadores eléctricos se pueden clasificar en dos tipos: de corriente continua o de corriente alterna. Se eligen casi exclusivamente máquinas de corriente alterna, no sólo por su relación potencia/peso más favorable sino por su capacidad de generar a tensiones más elevadas y, sobre todo, porque al no tener colector, presentan unos costes de mantenimiento mucho menores y una disponibilidad muy superior que los generadores de corriente

continua. Sólo en el caso de aerogeneradores de pequeña potencia es más usual la utilización de generadores de corriente continua.

Dentro de los generadores de corriente alterna podemos distinguir dos tipos básicos: los generadores de corriente alterna síncronos o los generadores de corriente alterna asíncronos.

En función del tipo de turbina y el tipo de control, los generadores pueden estar conectados directamente a la red (eventualmente a través de un transformador), o se acoplarán por medio de un convertidor de frecuencia.

El principal problema asociado a las máquinas síncronas conectadas directamente a la red es que, al ser la frecuencia constante la velocidad de giro también debe serlo, lo que conlleva esfuerzos mecánicos importantes sobre el sistema de transmisión mecánica y oscilaciones de la potencia eléctrica generada. Por esa razón, el generador síncrono no se usa nunca en sistemas conectados directamente a la red. Sin embargo, este tipo de generadores si se usa en el caso de sistemas conectados a la red mediante un convertidor de frecuencia.

En el caso de generadores asíncronos la situación es ligeramente diferente. Aquí la velocidad del rotor puede variar ligeramente aunque la frecuencia en bornes de la máquina sea constante lo que, por una parte, da una cierta flexibilidad al conjunto, y por la otra, reduce los esfuerzos sobre el eje al convertir en energía cinética parte de las variaciones bruscas de la velocidad del viento.

Los generadores de los parques de Oncala y Magaña son generadores asíncronos, mientras que los de los parques de El Cayo y Castilfrío son generadores síncronos trifásicos.

### **2.3.8. CONVERTIDOR**

El papel del convertidor es independizar la frecuencia del generador de la de la red, permitiendo de este modo el funcionamiento a velocidad variable. El convertidor de frecuencia permite, además, un control de la potencia reactiva inyectada en la red, como ocurre en cualquier central eléctrica convencional, lo cual es imprescindible en sistemas de una cierta potencia

El convertidor se encuentra en una plataforma intermedia de la torre. Su entrada se encuentra conectada al generador a través de mangueras flexibles, y la salida es dirigida de igual forma al transformador de media tensión para su distribución.

Los objetivos que el convertidor cumple son:

- Inyección de potencia a la red de forma óptima.
- Reducción máxima de fluctuaciones de potencia y efecto *Flickering*.

- Operación con velocidad variable del rotor, de forma que el punto de funcionamiento de la turbina sea el de máximo rendimiento dentro del rango de funcionamiento.

En nuestro caso, solo poseen convertidor los aerogeneradores de los parques de El Cayo y Castilfrío.

### 2.3.9. VELETA Y ANEMÓMETRO

Todos los aerogeneradores están provistos de una veleta y un anemómetro que se encuentran ubicados en la parte superior de la góndola.

El anemómetro sirve para medir la velocidad del viento y la veleta indica su dirección.

Los datos recogidos del anemómetro y de la veleta pasan al ordenador de control que según un algoritmo determinado decidirá como deberá mover la góndola gracias al sistema de corona dentada y motor de giro instalados en la base de la góndola en su unión con la torre. [21]

La figura 2.15 es una fotografía del anemómetro y la veleta ubicados en la parte exterior de la góndola de un aerogenerador del parque eólico Castilfrío.



Figura 2.15. Veleta y anemómetro del parque eólico Castilfrío.

En el Anexo A se recogen las características de los aerogeneradores de cada parque eólico.





# 3. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

---

## 3.1. TERMINOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO

AFNOR difunde desde 1981 un conjunto de normas relativas “al mantenimiento y la gestión de bienes duraderos”, normas destinadas a unificar el vocabulario y los métodos de mantenimiento. Sin embargo, no ha tenido en cuenta el importante vocablo conocido como terotecnología. La terotecnología es una combinación de *management* (gestión) de la economía y del *engineering* (tecnología), con vistas a la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos, sus comportamientos y precio de coste; su instalación, entretenimiento, modificación y durabilidad.

Según AFNOR (NF X 60-010), podemos definir el mantenimiento como el conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado.

Podemos especificar tres tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento correctivo: mantenimiento efectuado después del fallo.
- Mantenimiento preventivo: mantenimiento efectuado con intención de reducir la probabilidad de un fallo o de un bien o de un servicio prestado.

- Predictivo: instrucción de recomendaciones de mantenimiento en función de parámetros conocidos

Según la norma EN-13306, denominada “Terminología del Mantenimiento” fue aprobada por el Comité CEN el 7 de Marzo de 2001, y su contenido versa sobre las diversas definiciones existentes respecto a fallos, estados de los diferentes fallos, tipos de mantenimiento (figura 3.1) y estrategias, y, además, actividades de mantenimiento, tiempos, términos e indicadores económicos. El mantenimiento para el Comité Normalizador tiene únicamente dos subdivisiones: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo, a su vez, se subdivide en sólo dos tipos: mantenimiento basado en condición (o predictivo) y mantenimiento predeterminado (o preventivo sistemático). El mantenimiento correctivo, o la conocida reparación de fallos, tiene dos divisiones a su vez a un nivel inferior: mantenimiento programable (o diferido) y mantenimiento inmediato (o urgente). [10]

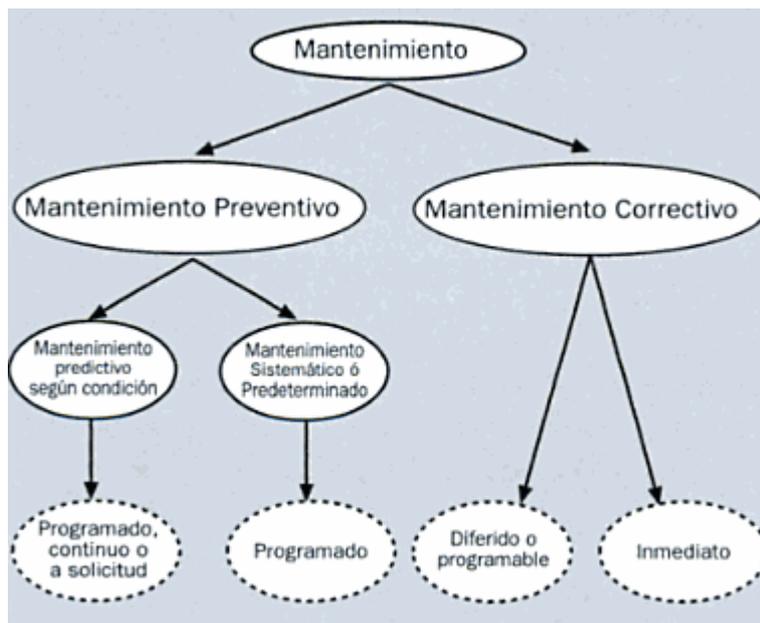


Figura 3.1. Terminología del mantenimiento según EN-13306. [10]

### 3.2. TIEMPOS RELATIVOS AL MANTENIMIENTO

Según la norma AFNOR (NF X 60-010) podemos dividir los tiempos de la siguiente forma, figura 3.2:

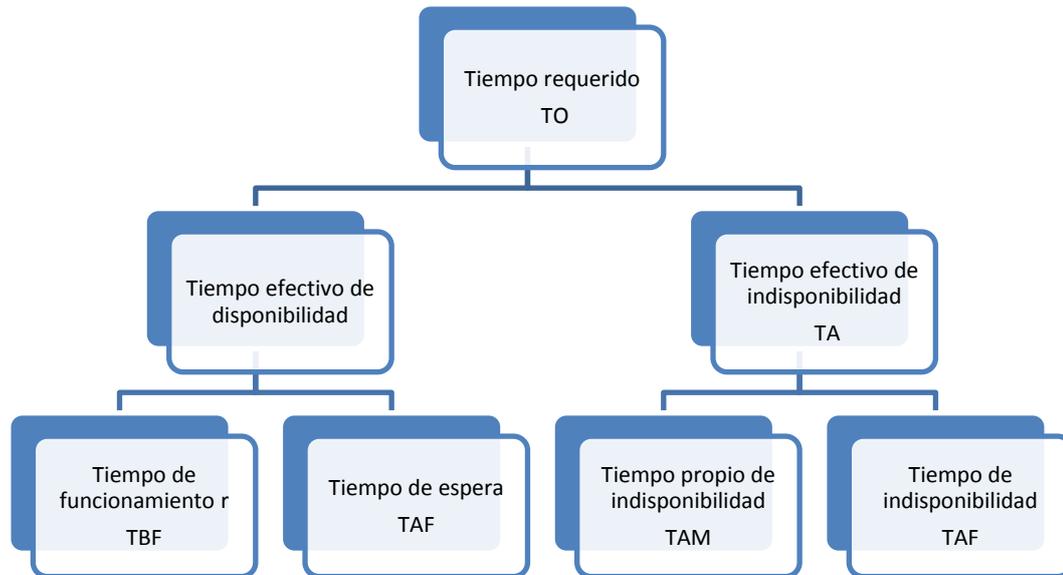


Figura 3.2. Tiempos relativos al mantenimiento

En el marco de la gestión del mantenimiento, se distinguen los tiempos de paro TA imputables al mantenimiento, que se llaman TAM, y los no imputables al mantenimiento TAF (F de “fabricación”).

Por la forma de recogida de los tiempos, los tiempos de espera serán imputados a la fabricación (TAF). En efecto, los contadores horarios que afectan a una máquina totalizan solamente los TBF. [15]

En nuestro caso, los tiempos de espera hacen referencia a los tiempos en los que el aerogenerador está disponible para empezar a producir pero no está en funcionamiento por falta o exceso de viento

En los capítulos posteriores no vamos a diferenciar entre TBF y TAF, ya que no tenemos contadores horarios que nos proporcionen esta información. Podríamos distinguir si un aerogenerador se encuentra en tiempo de espera usando los datos diezminutales de viento. Este trabajo sería muy costoso para largos periodos de tiempo a estudiar ya que tendríamos que contrastar la velocidad del viento con los valores máximo y mínimo en los que trabaja el aerogenerador y comprobar si se encuentra dentro de ese intervalo cada diez minutos. A esas paradas por exceso o falta de viento tendríamos que sumar las paradas que producen indisponibilidad por fallo o avería.

Se llamará TO al “tiempo requerido” de la norma, con referencia al “tiempo de apertura”, término utilizado corrientemente en las cadenas de producción [15]. En la ecuación (1) se muestra que TO es la suma de TBF, y TAM y TAF.

$$TO = \sum TBF + \sum TAM + \sum TAF \quad (1)$$

### 3.3. INTRODUCCIÓN A LA FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

La **fiabilidad** se define como la probabilidad, durante un periodo de tiempo especificado, de que el equipo en cuestión pueda realizar su función o su actividad en las condiciones de utilización, o sin avería. La fiabilidad se suele representar con la letra R (de la palabra inglesa *reliability*) y también como “calidad” en el tiempo. Una medida de la fiabilidad es el MTBF (*Mean Time Between Failures*) o, en castellano, TMEF: Tiempo Medio Entre Fallos. [10]

Se define **mantenibilidad** como la probabilidad de que el equipo, después del fallo o avería sea puesto en estado de funcionamiento en un tiempo dado. Una medida de la mantenibilidad es el MTTR (*Mean Time To Repair*) o TMDR en castellano: Tiempo Medio De Reparación. [10]

La **disponibilidad** es la probabilidad, en el tiempo, de asegurar un servicio requerido. Hay autores que definen la disponibilidad como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al parque total de equipos o sistemas. No obstante, hay que analizar la disponibilidad teniendo en cuenta o no el mantenimiento preventivo o, mejor dicho, las paralizaciones ocasionadas por dicho preventivo. [10]

Obtendremos la disponibilidad como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al parque total de equipos o sistemas.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

En la figura 3.3 aparece un esquema de la vida de un material en el que se relacionan los tres términos definidos anteriormente.

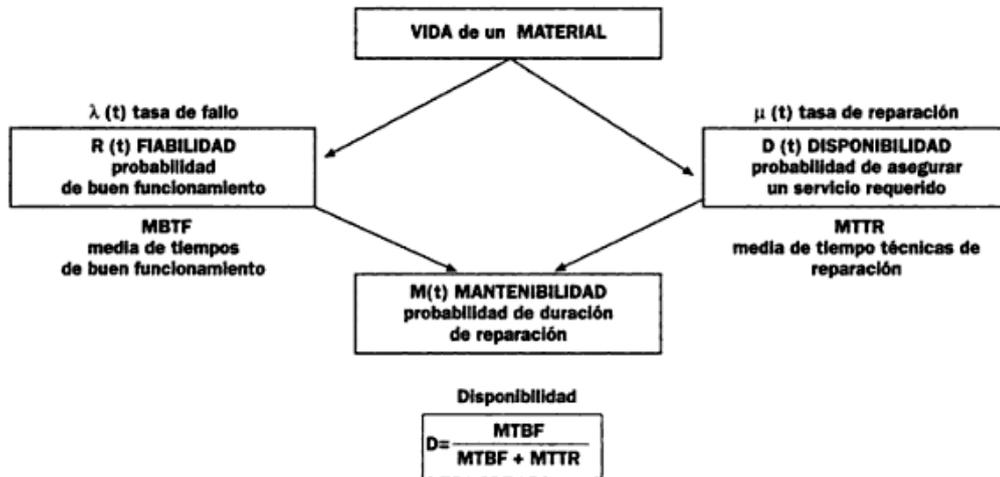


Figura 3.3. Esquema de la vida de un material. [10]

La vida de una máquina comprende una alternancia de paros y de “buen funcionamiento, figura 3.4, durante su duración potencial de utilización (tiempo requerido=  $t_0$ ,  $t_1 = T_0$ )

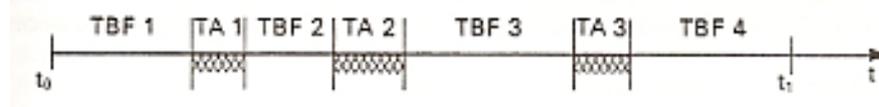


Figura 3.4. [15]

Una parte (variable) de los TA(tiempos de paro) está constituida por los TTR (tiempos técnicos de reparación), figura 3.5.



Figura 3.5. [15]

La MTBF es el valor medio entre paros consecutivos, para un periodo dado de la vida de un dispositivo:

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n} \quad (3)$$

De la misma forma, la MTTR será:

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n} \quad (4)$$

En la expresión de la disponibilidad, el MTTR engloba todas las paradas del sistema, equipo o instalación pues el sumatorio de TTR no diferenciaba entre paralizaciones correctivas o preventivas.

De este razonamiento se deduce que, en este aspecto, habrá dos ratios de control asociadas a nuestro mantenimiento:

$$D1 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR1} \quad (5)$$

donde R1 son las reparaciones asociadas a fallos o averías.

$$D2 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR2} \quad (6)$$

donde R2 son las revisiones sistemáticas preventivas.

Como  $MTTR = MTTR1 + MTTR2$ , tendremos tres líneas de mejora de la disponibilidad:

- Mejora asociada a reducir cuantitativamente el número de fallos, que redundará en aumentar el MTBF. Nuestro trabajo está enfocado a esta línea de mejora.
- Mejora asociada a disminuir los MTTR1, o reducir los tiempos de reparación de averías.
- Mejora asociada a disminuir los MTTR2, o a reducir las paralizaciones por mantenimientos preventivos, mediante programaciones de actividades más a la medida (predictivas), reduciendo o eliminando el preventivo que no añada valor, o atomizando los planes de mantenimiento en pequeñas operaciones que puedan programarse aprovechando otras paradas.[10]

### **3.4. DIFERENTES FORMAS DE MANTENIMIENTO**

La elección entre los diferentes métodos de mantenimiento, mostrados en forma esquemática en la figura 3.6, forma parte del cuadro de la “política” de mantenimiento y se debe decidir a nivel de la dirección del servicio.

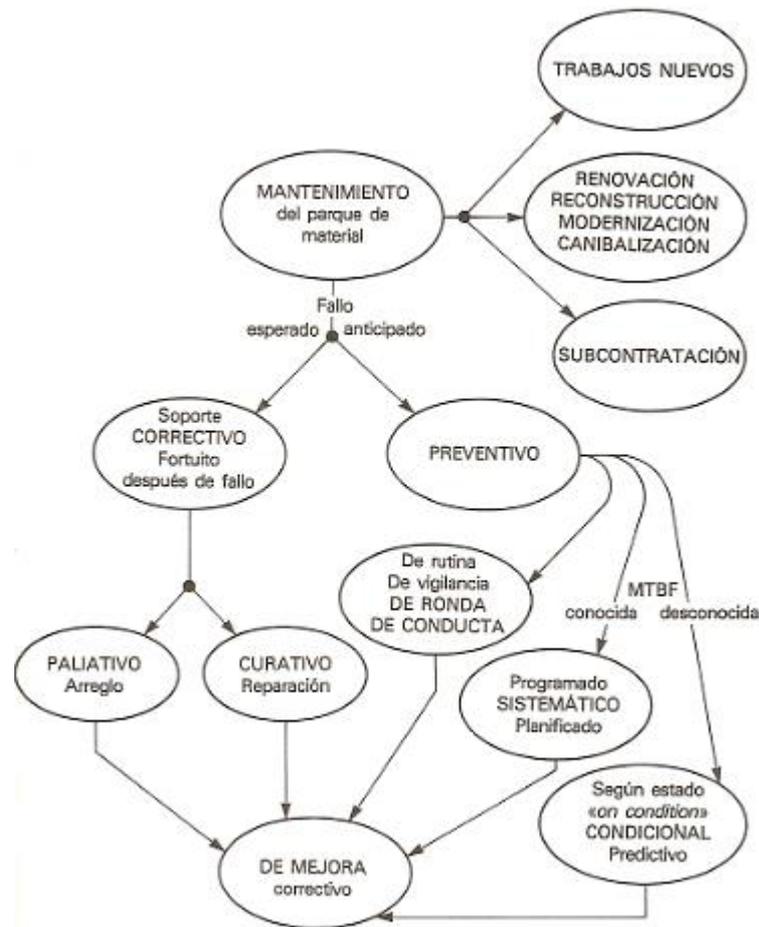


Figura 3.6. Representación gráfica de las diferentes formas de acción posibles de mantenimiento. [15]

### 3.4.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

La política de mantenimiento correctivo, basada en la presentación del fallo, constituye un método en el que se realizan tareas de mantenimiento correctivo tras ocurrir un fallo, a fin de recuperar las funcionalidad del elemento o sistema considerado. [12]

Este tipo de mantenimiento presenta ciertos inconvenientes, uno de los inconvenientes más importantes es que un fallo de un elemento puede a su vez acarrear daños a otros elementos del sistema y aumentar los costes de reparación. Otro de los inconvenientes es el aumento de los tiempos de parada del aerogenerador debido a la indisponibilidad de recursos (repuestos, personal, herramientas...).

El mantenimiento correctivo se basa en dos tipos de intervenciones, figura 3.7:

- Los arreglos, es decir, una puesta en estado de funcionamiento efectuado *in situ*, a veces sin interrupción del funcionamiento del conjunto afectado; tiene un carácter “provisional”.  
Son característicos del mantenimiento paliativo.
- Las reparaciones, hechas in situ o en el taller central, a veces después del arreglo, tienen un carácter “definitivo”.  
Son características del mantenimiento curativo.

[15]

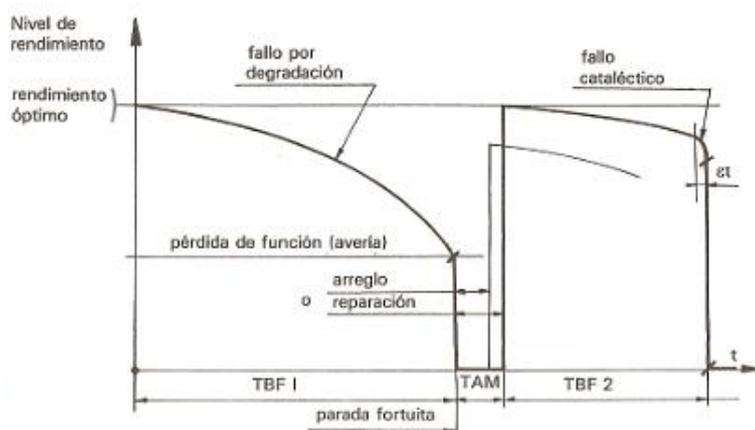


Figura 3.7. Ley de degradación desconocida, mantenimiento correctivo. [15]

### 3.4.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es una intervención de mantenimiento prevista, preparada y programada antes de la fecha probable de aparición de un fallo. Este tipo de mantenimiento tiene los siguientes objetivos:

- Aumentar la fiabilidad de un equipo
- Aumentar la duración de la vida eficaz de un equipo
- Mejorar el ordenamiento de los trabajos, por consiguiente, las relaciones con la producción
- Reducir y regularizar la carga de trabajo
- Facilitar la gestión de existencias
- Garantizar la seguridad

En una primera fase, el mantenimiento preventivo puede existir solo.

Visitas preventivas periódicas permitirán vigilar el estado del material en servicio, pero sobre todo registrar en memoria informaciones que facilitaran conocer las *leyes de degradación* y los *niveles de admisibilidad*.

Las visitas preventivas permiten anticipar los fallos, por tanto, preparar las intervenciones preventivas.

Una segunda fase, cuando se conozca el comportamiento en servicio, se evolucionará hacia el *mantenimiento sistemático*, más fácil de gestionar.

- El *mantenimiento en ronda* es una forma de “sistemático” con frecuencias cortas e intervenciones preventivas ligeras.
- El *mantenimiento condicional* es una forma evolucionada de preventivo, que somete al material “bajo vigilancia continua”. [15]

En los parques eólicos se realiza un mantenimiento preventivo anual programado durante periodos de poco viento. En este tipo mantenimiento se realiza una comprobación de los pares de apriete, engrases, revisión exhaustiva del generador. También se realizan, cada más cierto tiempo, cambios de aceite de la multiplicadora y del grupo hidráulico y un megado de los cables del generador

Además del mantenimiento correctivo y preventivo, en los parques eólicos se realiza un mantenimiento predictivo. Este mantenimiento consiste en un análisis del aceite de la multiplicadora y un análisis de vibraciones. Este mantenimiento proporciona las siguientes ventajas:

- Disminución de grandes correctivos.
- Aumento de la disponibilidad y de la vida útil de la máquina.

El tipo de mantenimiento efectuado en cada parque está sujeto a la empresa de mantenimiento encargada de ello. *Gamesa* se encarga del mantenimiento de los parques de Castilfrío y El Cayo, y *Vestas* de los parques de Magaña y Oncala.

A continuación, vamos a explicar una de las técnicas organizativas más actuales para aplicar en mantenimiento y mejorar significativamente sus resultados, es el Mantenimiento Centrado en Fiabilidad.

### 3.4.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) es una técnica organizativa que nos ayuda a replantear todo nuestro mantenimiento con base en la fiabilidad o análisis de fallos y utiliza, entre otras y como táctica de mantenimiento tras el análisis de dichos fallos, la tecnología de mantenimiento llamada Predictivo.

Esta técnica se basa en la búsqueda de mejora de resultados con base en las siguientes premisas:

- Analizar con una metodología rigurosa y auditable cada tipo de fallo o avería de la forma más estricta y profunda, estudiando el modo y forma en que se producen dichos fallos y como éstos se traducen en costes y repercusiones.
- La productividad global del Departamento de Mantenimiento debe mejorarse mediante una forma de trabajo más avanzada, proactiva y planificada.
- Se debe contar con el apoyo activo y cooperación del personal de mantenimiento, el de operación o producción, el personal técnico o de ingeniería y el administrativo.

El RCM se implementa sobre la base de una serie de pasos muy planificados y relacionados. Primero hay que examinar bien las metas de productividad y de mejora que ha definido la Dirección, para lo que se precisará una clara estrategia por parte de ésta sobre los principales parámetros a mejorar (costes, fiabilidades, etc.). Una vez claro esto, hay que evaluar las maneras y métodos por los que estas metas pueden alcanzarse y los efectos de las averías o de los fallos. Teniendo claras las metas y como se pretenden alcanzar, debemos llevar a cabo un trabajo casi de investigación para deducir los modos de fallos más factibles y la mejor manera de eliminar o reducir las consecuencias de cada fallo. En determinados casos, el análisis de fallos asociados al análisis de costes nos aconsejará dejar que el equipo siga funcionando hasta que falle, y no hacer ningún tipo de mantenimiento preventivo. En otros, por ejemplo, también se nos inducirá a dejar que el equipo siga trabajando hasta que falle, pero con un sistema alternativo en paralelo, cuya incorporación mediante una reforma es más barata que realizar el periódico mantenimiento preventivo. [10]

Su implantación es compleja y requiere de largos periodos de tiempo en el análisis de los fallos debido a las carencias documentales en ciertos sectores, como puede ser el energético.

En la figura 3.8 se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos en un análisis de una industria aeroespacial. En este caso las revisiones preventivas y rutinarias tienen muy poco efecto sobre la fiabilidad del sistema cuando nos estamos refiriendo a equipos complejos y avanzados. Hay muchos equipos para los que es difícil programar un momento crítico para realizar una intervención preventiva.

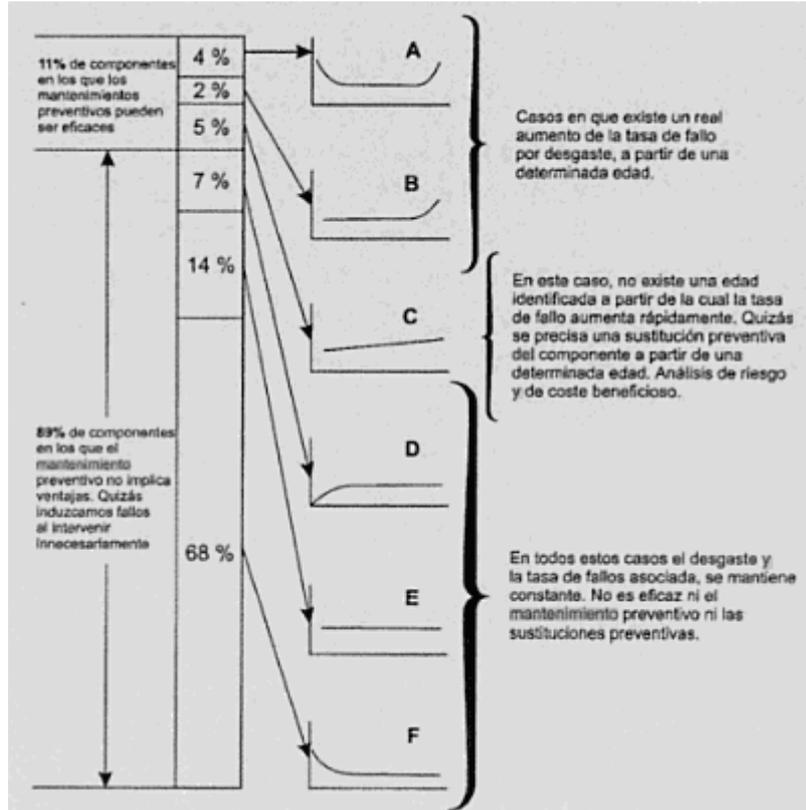


Figura 3.8. [10]

## 3.5. CONOCIMIENTO DEL MATERIAL

### 3.5.1. NATURALEZA Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

Dada la variedad de las industrias afectadas por la necesidad de tener un servicio de mantenimiento eficaz, el material a entretener es también de gran diversidad. La primera clasificación posible de los bienes es:

- Bienes unidos a la producción. “Tales que cualquier fallo o mal funcionamiento provoca un paro, una lentificación o una mala calidad de la producción”
- Bienes no unidos a la producción. “Tales que un fallo no influye en la producción”

Potencialmente, todo “bien duradero” de la estructura industrial podrá ser tomado a cargo por el mantenimiento.

Un equipo complejo se puede descomponer funcionalmente en “conjuntos” equivalentes a una máquina a nivel de inventario. [15]

Cada una de estas máquinas se descompone a su vez en subconjuntos de funciones diferentes. En la figura 3.9, podemos ver los conjuntos y subconjuntos en los que podemos descomponer un equipo complejo.



Figura 3.9. Esquema de la descomposición de un equipo complejo. [15]

### 3.5.1.1. *Inventario del parque de material*

El inventario es una nomenclatura codificada del parque a mantener, establecida según la lógica de agrupaciones en familias arborescentes. El parque, es decir, el conjunto de bienes que están a cargo del servicio de mantenimiento, se compone de máquinas de producción, material periférico e instalaciones.

El inventario es un documento costoso de establecer, pero fácil de tener al día.

La codificación permite la gestión técnica y económica del servicio por la posibilidad de imputación de los fallos y de los costes a los sectores, a los tipos de máquinas, a los subconjuntos frágiles, etc. [15]

### 3.5.1.2. *Dossier-máquina*

El dossier-máquina es la referencia que permite el conocimiento íntimo de un equipo, su origen, sus tecnologías y sus comportamientos.

El dossier-máquina comprende dos partes:

- El dossier del constructo, con todos los documentos suministrados, la correspondencia intercambiada y los documentos contractuales;
- El fichero-máquina interno, estándar, establecido y mantenido al día por la oficina de métodos.

El dossier-máquina evidentemente es difícil de introducir en memoria informática: los esquemas, planos y fotos deben ser accesibles para los preparadores y los inventores. [15]

### 3.5.1.3. *Fichero histórico de la máquina*



El histórico es un fichero relativo a cada máquina inventariada que describe cronológicamente todas las intervenciones correctivas sufridas por la máquina desde su puesta en servicio.

Representa el “carnet de salud” de la máquina y es un complemento del dossier-máquina.

- Antes del histórico, la adquisición de los datos:

El agente de métodos tiene al día el histórico, donde anota periódicamente las acciones correctivas. Para ello, dispone de documentos individuales para cada operación, debidamente rellenados (tiempos empleados, código máquina...), y eventualmente los partes de intervenciones, las fichas de análisis de los fallos... [15]

En la figura 3.10 se muestra un ejemplo de un documento de una intervención realizada por la empresa *Gamesa* acerca de un mantenimiento correctivo realizado en el aerogenerador 30 del parque eólico de Castilfrío. En él, se anota el número de operación, los datos de la máquina, el parque eólico en el que se realiza el correctivo, el trabajo realizado, los tiempos de parada de la máquina, los datos del personal que realiza el mantenimiento, los materiales utilizados para la reparación y las herramientas.

 Avda. Ciudad de la Innovación 2 31621 Sarriñena (Navarra) Tlf.: 948 771 000	<b>Nº OT</b>		<b>Clase de Trabajo</b>					
	<b>402073350</b>		OT Mantenimiento Pequeño correctivo					
	Firma técnicos:							
Conforme responsable cliente:		Conforme responsable Gamesa:						
<b>Cliente:</b>	CIA. EOLICA DE TIERRAS ALTAS, S.A.		<b>Fecha:</b>	05.08.2015				
<b>Parque:</b>	Castilfrío		<b>Máquina/</b>	30				
<b>Aerogenerador:</b>	AE52 / 52 / 30 Castilfrío		<b>Nº Torre:</b>					
<b>Motivo de Salida:</b>	DP MODULO MIX							
<b>Trabajo realizado</b>								
Se revisa y hacen fibras, se da marcha y la maquina queda en observacion. Vuelve a caer y se cambia profimix y conectores de cablesdp de amario A2. Se da marcha y queda ok								
<b>ALARMAS</b>								
<b>Código alarma</b>		<b>Descripción</b>						
MSIE009		DP MODULO MIX						
<b>OTROS DATOS</b>								
<b>Horas línea</b>		<b>Horas turbina</b>	<b>KWh</b>					
		11294,00	28044598,00					
<b>MODOS DE FALLO</b>								
<b>Sistema</b>	<b>Subsistema</b>	<b>Componente</b>	<b>Tipo de fallo</b>					
SIST. DE INSTRUMENTACIÓN EN GÓNDOLA	DESCONOCIDO	DESCONOCIDO	DESCONOCIDO					
<b>PARADA MAQUINA</b>								
<b>Fecha Parada</b>	<b>Hora Parada</b>	<b>Fecha Marcha</b>	<b>Hora Marcha</b>	<b>Tiempo Parada</b>				
05.08.2015	09:32	05.08.2015	12:30	2.97				
05.08.2015	15:30	05.08.2015	18:00	2.50				
<b>MANO DE OBRA</b>								
<b>Subcontrata</b>	<b>Técnico</b>	<b>Fe. Ini.</b>	<b>Hora ini.</b>	<b>Fe. Fin</b>	<b>Hora Fin</b>	<b>Tp. Hora</b>		
GLOBAL ENERGY SERVICES SIEMSA SA	01013584	TIMBELA RODRIGUEZ, JUAN, ALBERTO	05.08.2015	11:00	05.08.2015	13:30	Horas normales opera	
GLOBAL ENERGY SERVICES SIEMSA SA	01013584	TIMBELA RODRIGUEZ, JUAN, ALBERTO	05.08.2015	16:00	05.08.2015	18:00	Horas normales opera	
GLOBAL ENERGY SERVICES SIEMSA SA	01014537	CEÑA JIMENEZ, JOSE, MIGUEL	05.08.2015	11:00	05.08.2015	13:30	Horas normales opera	
GLOBAL ENERGY SERVICES SIEMSA SA	01014537	CEÑA JIMENEZ, JOSE, MIGUEL	05.08.2015	16:00	05.08.2015	18:00	Horas normales opera	
<b>MATERIALES</b>								
<b>Fecha</b>	<b>Cant.</b>	<b>Un.</b>	<b>Repuesto</b>		<b>Defectuoso</b>		<b>Con.</b>	<b>Almacén</b>
			<b>Ref.</b>	<b>Nº Serie</b>	<b>Ref.</b>	<b>Nº Serie</b>		
			<b>Descripción</b>		<b>Descripción</b>			
05.08.2015	2.000	UN	8441712154					CASTRILFRIO-CAYO
			SIM CONECTOR DP CON RESISTENCIA					
05.08.2015	2.000	UN	8500000016					CASTRILFRIO-CAYO
			SIM CONECTOR DP CON RESISTENCIA + SUB					
05.08.2015	1.000	UN	8500000501		8500000501			CASTRILFRIO-CAYO
			PROFIMIX (REF: ORBITAL 10808)		PROFIMIX (REF: ORBITAL 10808)			
<b>HERRAMIENTAS</b>								
<b>Herramienta</b>			<b>Nº Serie Identificación</b>			<b>Fecha Próx. Calibración</b>		

Figura 3.10. Ejemplo de documento de una intervención realizado por la empresa de mantenimiento Gamesa.

- Después, la explotación del histórico:
 

Como para cualquier fichero, la definición exacta de las informaciones y de su explotación es la que justifica la existencia del fichero y la que condiciona su contenido.

Es inútil pasar a la memoria los datos no utilizados. La importancia de un histórico es función de la clase de “criticidad” de la máquina

Explotación de los históricos.

Podemos realizar una serie de análisis a partir de los datos recogidos en los históricos.

- Explotación para fiabilidad.
- Explotación para disponibilidad.
- Explotación para métodos.
- Explotación para “gestión de existencias”.
- Explotación para “política de mantenimiento”.

La explotación se puede hacer en cuatro niveles:

- Análisis de un parque de máquinas estandarizadas.
- Análisis global de una máquina.
- Análisis por grupos funcionales.
- Estudio de los módulos y de los órganos.

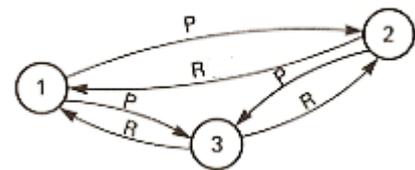
[15]

### 3.6. CONOCIMIENTO DE UN FALLO

#### 3.6.1. ESTADO DE UN SISTEMA

Para definir el estado de un sistema, se utiliza el modelo de Markov. Un sistema puede presentar tres estados:

1. Buen funcionamiento.
2. Uso degradado.
3. Averiado.



A estos tres estados se asocian seis transiciones representadas por arcos, figura 3.11.

Figura 3.11. [15]

P asociado a  $h$  (tasa de fallo); P: avería

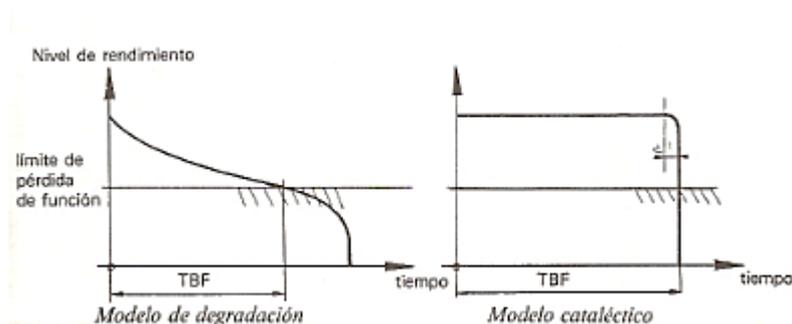
R asociado a  $\mu$  (tasa de reparación); R: reparación

$$h = \frac{1}{MTBF} \quad \mu = \frac{1}{MTTR} \quad (7)$$

#### 3.6.2. ANÁLISIS DE UN FALLO

El concepto de mantenimiento correctivo incluye no solamente el arreglo o la reparación de un sistema que falla, sino también la búsqueda de la forma de evitar la reaparición del defecto. De ahí el interés de los análisis de fallos.

Los fallos se manifiestan según uno de los siguientes modelos: *modelo de degradación* y *modelo cataléctico*.



**Figura 3.12.** Representación del proceso evolutivo de un fallo según el modelo de degradación y según el modelo cataléctico. [15]

Los dos modelos se diferencian en la velocidad de manifestación que está representada en la figura 3.12. El modelo de degradación va perdiendo rendimiento a lo largo de un tiempo  $t$ , hasta que alcanza un límite, límite de pérdida de función. A partir de ese tiempo podemos determinar que ha ocurrido el fallo. El modelo cataléctico ocurre sin previo aviso.

### 3.6.3. TASA DE FALLOS

La tasa de fallos, nominada  $h(t)$ , es un “estimador” de la fiabilidad. En efecto, representa un porcentaje de dispositivos sobrevivientes en un instante  $t$ .

Su forma general es:

$$h(t) = \frac{\text{número de fallos}}{\text{duración de uso}} \quad (8)$$

Frecuentemente se expresa en “averías/hora”

#### Duración de la vida de un equipo

1. Juventud (mortalidad infantil, fallos precoces).
  - En estado de funcionamiento al principio (puesta en servicio)
  - Periodo de rodaje (predesgaste, golpe de útil inicial)
  - Preselección de los componentes electrónicos
  
2. Madurez (periodo de vida útil, de fallos aleatorios).
  - Periodo de rendimiento óptimo del material
  - Tasa de fallo constante
  - Los fallos aparecen sin degradaciones previas visibles, por causas diversas, según un proceso de envenenamiento (fallos aleatorios).
  
3. Obsolescencia (vejez, desgaste).

-Una forma de fallo predominante, generalmente visible, da lugar a una degradación acelerada, con tasa de fallo creciente (para un mecanismo). A menudo, se presenta un desgaste mecánico, la fatiga, una erosión o una corrosión.

A cierto nivel de  $h(t)$ , el material está “muerto”. Entonces es desclasificado y después rechazado, o a veces reconstruido. La determinación de  $T$ , nivel de reforma, se obtiene a partir de criterios técnico-económicos.

En la figura 3.13 están representadas en forma de gráfico las diferentes etapas señaladas anteriormente por las que pasa un equipo durante su vida útil. Se representa la tasa de fallos frente al tiempo.

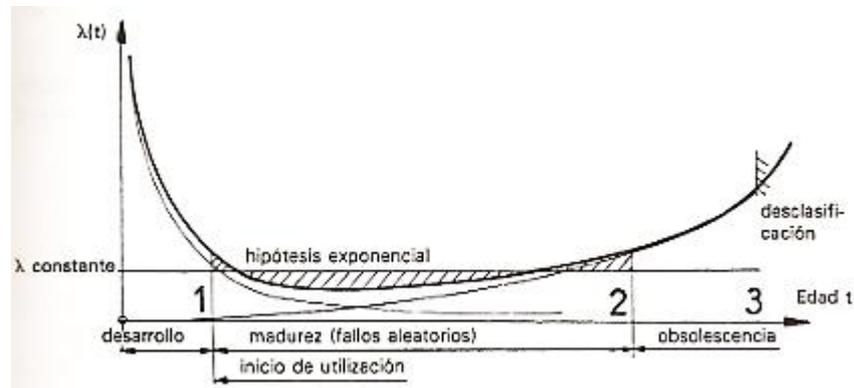


Figura 3.13. Curva en bañera. [15]

### 3.7. TEORÍA DE LA FIABILIDAD

La fiabilidad viene definida, en la norma AFNOR X 06-501 de noviembre de 1977, como la característica de un dispositivo expresada por la probabilidad de que este dispositivo cumpla una función requerida en las condiciones de utilización y para un periodo de tiempo determinado.

La fiabilidad se refiere a la permanencia de la Calidad de los productos o servicios a lo largo del tiempo. Decimos que un aparato o componente es fiable si desarrolla adecuadamente su labor a lo largo de su vida útil. Un aparato fiable funcionará correctamente durante su vida, mientras que otro que no lo sea dará numerosos problemas. El estudio de la Calidad, en una primera etapa, se limita a garantizar que el producto sale de fábrica en buenas condiciones. La Fiabilidad intenta garantizar que el producto permanecerá en buenas condiciones durante un periodo razonable de tiempo. [28]

La fiabilidad es por tanto un aspecto de la incertidumbre en ingeniería, ya que el hecho de que un sistema funcione durante un cierto período de tiempo, sólo puede ser estudiado en términos de probabilidades. De hecho la normativa británica (BS) define fiabilidad como la probabilidad de que un componente o sistema, desarrolle durante un periodo de tiempo dado, la tarea que tiene encomendada sin fallos, y en las condiciones establecidas. Podemos definir que el problema fundamental en fiabilidad, es estimar la vida de un producto o sistema y la probabilidad de que se produzca un fallo en cada momento. [28]

### 3.7.1. EXPRESIÓN MATEMÁTICA

Un dispositivo puesto en marcha por primera vez sufrirá inevitablemente una avería en un instante  $T$ , desconocido a priori.

$T$  es una variable aleatoria de una función de repartición  $F(t)$ ,  
 $F(t)$  es la probabilidad de que el dispositivo esté averiado en el instante  $t$ .

Vamos a denominar  $f(t)$  a la función de densidad de la variable  $T$ . Entonces su Función de Distribución será:

$$F(t) = Pr (T < t) = \int_0^t f(t). dt \quad (9)$$

La probabilidad de que un individuo/componente sobreviva/funcione más allá de un instante  $t$ , viene determinada por la *Función de Supervivencia*, que en el ámbito de la fiabilidad recibe el nombre de *Función de fiabilidad*:

$$S(t) = Pr (T \geq t) = \int_t^{\infty} f(t). dt = 1 - F(t) \quad (10)$$

$S(t)$  es una función continua, monótonamente decreciente y tal que:

$$S(0) = 1 \quad (11)$$

$$S(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = 0 \quad (12)$$

Estos resultados quieren decir que la probabilidad de vivir un tiempo de 0 ó más es 1, y la probabilidad de vivir un tiempo infinito es cero.

Para el análisis de procesos de duración, resulta especialmente indicada la *Tasa de fallo*, explicada anteriormente en el apartado 3.6, que se define como:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Pr(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} \quad (13)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (14)$$

Esta función indica la posibilidad de fallo inmediato dado que el componente está funcionando en ese momento.

La Tasa de fallos acumulada va a ser de gran utilidad a la hora de decidir si un componente tiene una tasa de fallos creciente, decreciente o constante. Se define la tasa de fallos acumulada como:

$$H(t) = \int_0^t h(t) dt \quad (15)$$

Esta función se caracteriza por ser una línea recta si la tasa de fallos es constante, y crecer por encima de la recta si la tasa de fallos es creciente y por debajo si es decreciente.

[28]

### 3.7.2. CONSIDERACIONES SOBRE LA TASA DE FALLOS

La evolución de la tasa instantánea de fallo, es decir la probabilidad de que un elemento que no ha fallado todavía en el instante  $t$ , falle en el instante siguiente  $t + \Delta t$ , es de suma importancia en el estudio de la fiabilidad de componentes, o en general en el análisis de cualquier fenómeno evolutivo. Su especificación va a constituir, por tanto, la piedra angular del modelo.

En principio, cualquier tasa de fallos puede ser adecuada dependiendo del modelo a estimar.

En la práctica suele ser habitual encontrar funciones constantes, crecientes o decrecientes dependiendo del tipo de fenómeno estudiado. De hecho, los

distintos procesos se van a definir según su tasa de fallos sea creciente, decreciente o constante.

- **Tasa de fallo constante:**

Indica que la probabilidad de fallo instantáneo es la misma en cualquier momento y consecuentemente el proceso no tiene memoria, ya que la posibilidad de fallo estando funcionando, es idéntica en cualquier momento de la vida del componente, figura 3.14.

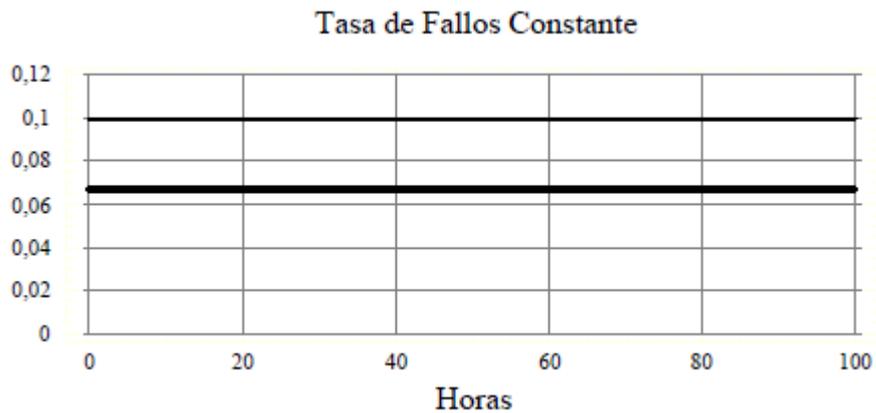


Figura 3.14. Tasa de fallos constante. [28]

- **Tasa de fallos creciente:**

Surge, en la mayoría de los casos por desgastes y fatigas, es decir por un proceso de envejecimiento. La tasa de fallos creciente indica que la probabilidad de fallo inmediato, teniendo en cuenta que el componente está funcionando, se incrementa a medida que pasa el tiempo. Evidentemente a medida que un componente se hace más viejo, su tasa de fallos tenderá a crecer. La figura 3.14 muestra dos tasas de fallos crecientes para dos componentes distintos.

### Tasas de Fallos Crecientes

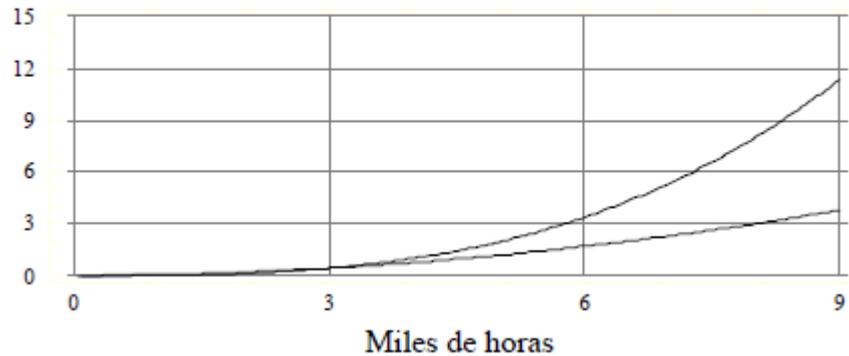


Figura 3.14. Tasa de fallos crecientes [28]

- **Tasa de fallos decrecientes:**

Se observa en productos cuya probabilidad de fallo es menor cuando aumenta el tiempo de supervivencia. Esto aparece a menudo en cualquier tipo de materiales, al principio de su funcionamiento la probabilidad de fallo es alta debido a la existencia de posibles defectos ocultos. A medida que transcurre el tiempo esta probabilidad se estabiliza a un nivel más bajo, pues si el elemento ha sobrevivido será porque no tenía ese defecto oculto. En este caso es conveniente realizar un control de calidad bajo stress a los elementos, ya que los que fallen se pueden eliminar desde el principio. La figura 3.15 presenta tasas de fallo decrecientes.

### Tasas de Fallos Decrecientes

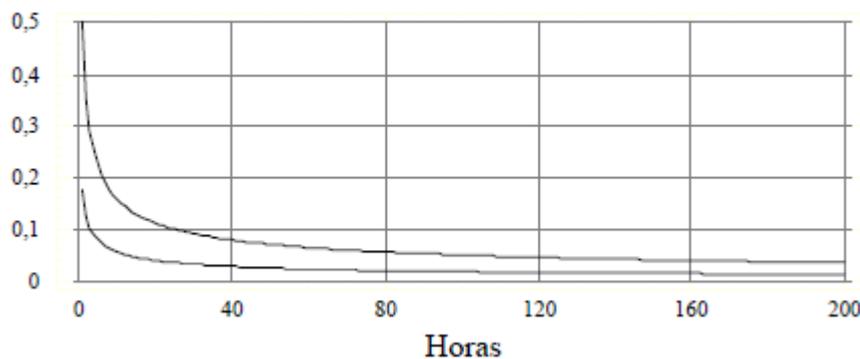


Figura 3.15. Tasa de fallos decrecientes. [28]

- **Curva de bañera:**

La generalización del proceso anterior conduce a la curva de bañera (Bathtub Curve) que representa la probabilidad de fallo instantáneo de un elemento que se comporta inicialmente de forma decreciente (a esta zona

se le denomina de mortalidad infantil), en su vida media con una probabilidad de fallo casi constante (zona de vida útil), y finalmente con probabilidad de fallo que aumenta con la edad (zona de deshecho).

[28]

### 3.7.3. MODELOS UTILIZADOS EN FIABILIDAD

El criterio de elección de un modelo se basará en las técnicas descriptivas que se estudiarán en el capítulo 7 y especialmente en el conocimiento teórico que tengamos del proceso. Este conocimiento nos permitirá saber en muchas ocasiones que el proceso tiene tasa de fallos creciente, decreciente o en forma de bañera.

#### 3.7.3.1. Modelo Exponencial

La distribución exponencial es una de las más utilizadas en fiabilidad, lo cual es debido a su simplicidad y al hecho de que proporciona un modelo con tasa de fallo constante. En el contexto de la curva de la bañera, esta distribución representa la zona central o etapa de vida útil del dispositivo, durante la cual la tasa de fallo permanece aproximadamente constante. [22]

A continuación se muestra un resumen de las correspondientes funciones asociadas al análisis de los datos de supervivencia:

$$f(T) = \frac{1}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (16)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (17)$$

$$S(t) = e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (18)$$

$$h(t) = \frac{1}{\theta} \quad (19)$$

$$H(t) = \frac{t}{\theta} \quad (20)$$

Además,  $E(t) = \theta$ , es decir que la duración media del proceso será  $\theta$ .

El modelo exponencial es el único que tiene tasa de fallos constante: la probabilidad de fallar condicionada a que el elemento esté en uso no varía con el tiempo. Esta propiedad se denomina falta de memoria.

Se muestran en las gráficas las distintas curvas para distintos valores del parámetro  $\theta$  de la función exponencial, figura 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19.

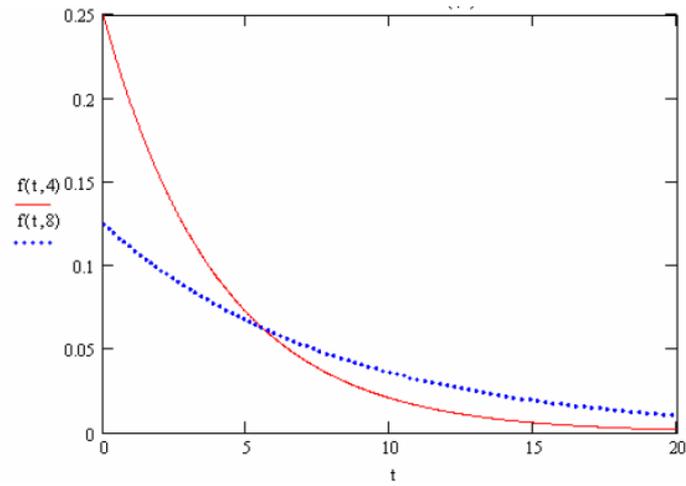


Figura 3.16. Función densidad  $f(t, \theta)$ . [22]

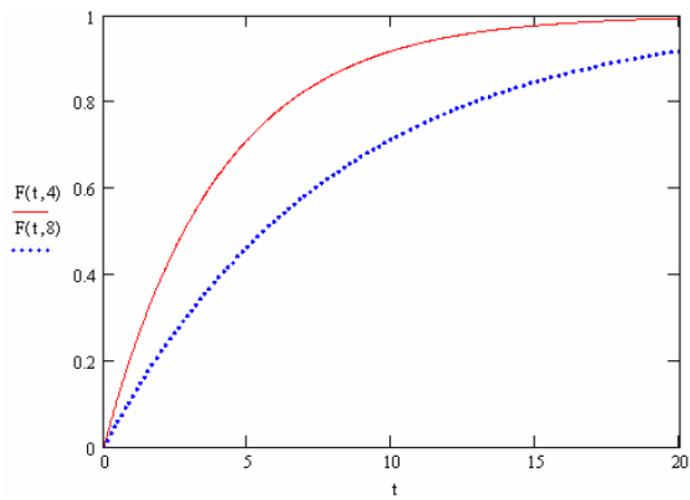


Figura 3.17. Función distribución  $F(t, \theta)$ . [22]

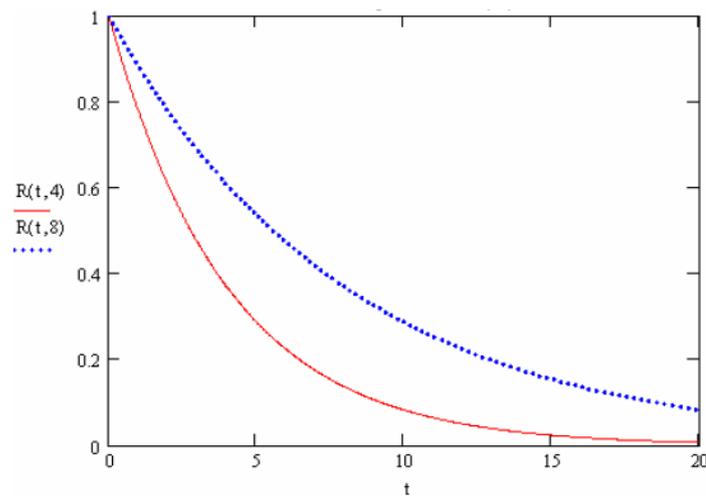


Figura 3.18. Función supervivencia  $R(t, \theta)$ . [22]

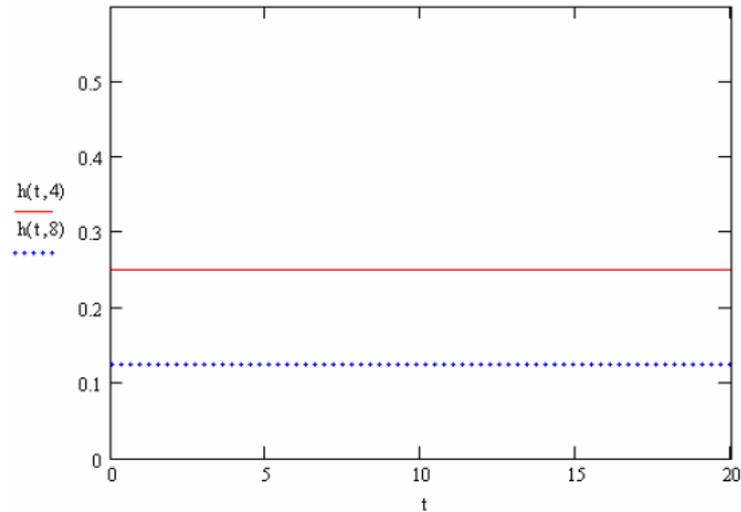


Figura 3.19. Tasa de fallos  $h(t, \theta)$ . [22]

### 3.7.3.2. Modelo de Weibull

La distribución de Weibull es, probablemente, la distribución más utilizada en teoría de fiabilidad. Ello se debe a la gran flexibilidad que presenta esta distribución, mediante la cual es posible modelar cada una de las tres etapas típicas de la curva de la bañera según sean los valores de  $\beta$ .

Puede presentar tasas de fallo creciente, decreciente o constante. Así, cuando  $\beta = 1$  el modelo Weibull se convierte en exponencial y presenta tasa de fallos constante. El modelo exponencial es por tanto un caso particular del modelo Weibull. [22]

El modelo de Weibull presenta las siguientes funciones:

$$f(t) = \lambda\beta(\lambda t)^{\beta-1}e^{-(\lambda t)^\beta} \quad (21)$$

$$F(t) = 1 - e^{-(\lambda t)^\beta} \quad (22)$$

$$S(t) = e^{-(\lambda t)^\beta} \quad (23)$$

$$h(t) = \lambda\beta(\lambda t)^{\beta-1} \quad (24)$$

$$H(t) = (\lambda t)^\beta \quad (25)$$

$\beta$  se llama parámetro de forma  $\beta > 0$

$\lambda$  se llama parámetro de escala

El parámetro de forma  $\beta$  representa las distribuciones de duración estudiadas permitiendo adaptar la forma de las curvas  $h(t)$  a las diferentes fases de la vida de un sistema o de un componente. Igualmente puede servir de indicador para un diagnóstico.

- Si  $\beta < 1$ ,  $h(t)$  decrece: periodo de juventud (rodaje, desarrollo).
- Si  $\beta = 1$ ,  $h(t)$  es constante: independencia del proceso y del tiempo.
- Si  $\beta > 1$ ,  $h(t)$  crece: fase de obsolescencia que se puede analizar detalladamente para orientar el diagnóstico.

$1,5 < \beta < 2,5$ : fenómeno de fatiga.

$3 < \beta < 4$ : fenómeno de desgaste, de corrosión, de sobrepasar un umbral (campo de deformación plástica).

$\beta = 3,5$ :  $f(t)$  es simétrica, la distribución es "normal".

[15]

A continuación se muestran, en las figuras 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23, las gráficas de las funciones del modelo de Weibull para valores diferentes del parámetro de forma y de escala.

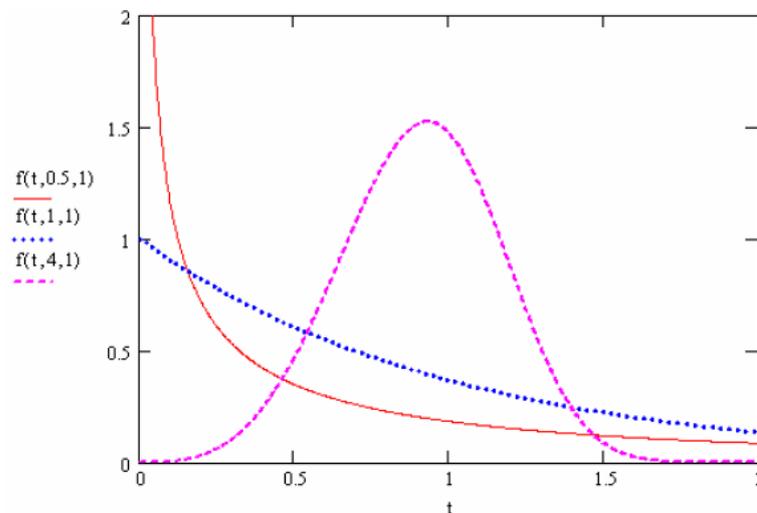


Figura 3.20. Función densidad  $f(t, \beta, \lambda)$ . [22]

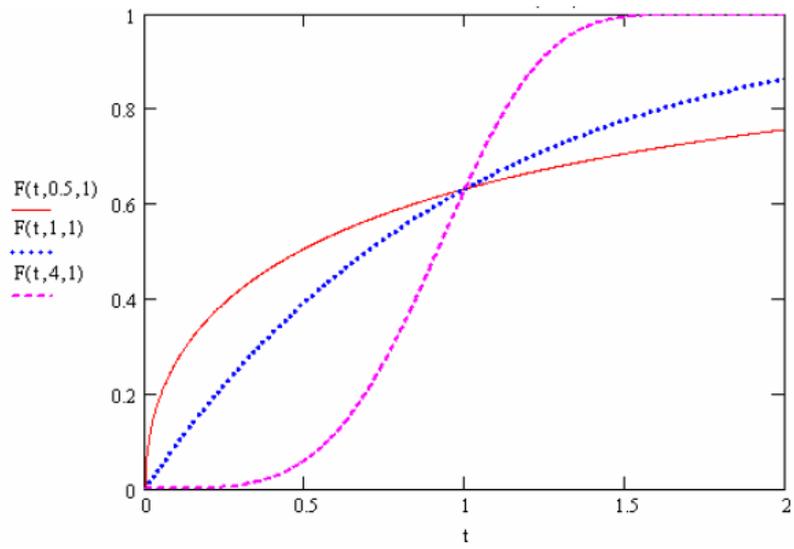


Figura 3.21. Función distribución  $F(t, \beta, \lambda)$ . [22]

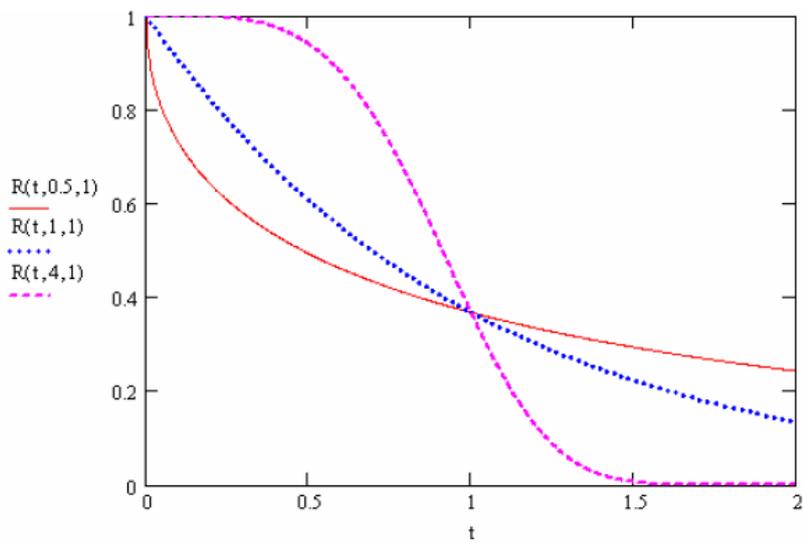


Figura 3.22. Función supervivencia  $R(t, \beta, \lambda)$ . [22]

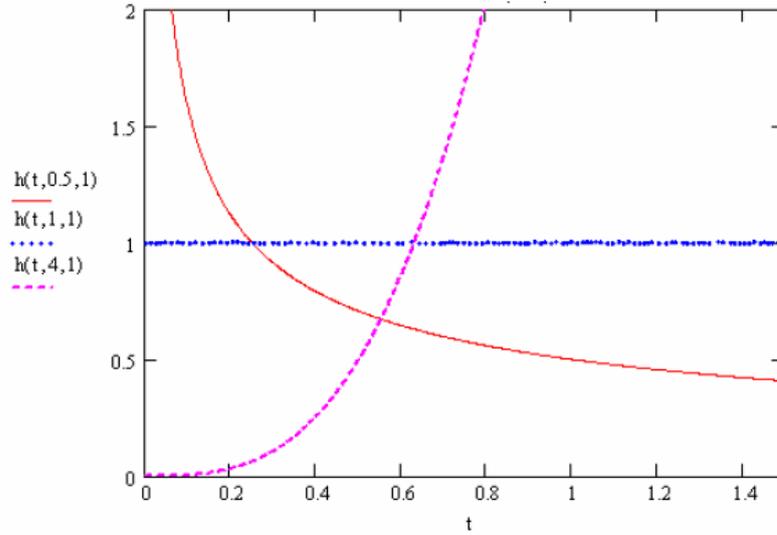


Figura 3.23. Tasa de fallos  $h(t, \beta, \lambda)$ . [22]

Existe un modelo de Weibull con tres parámetros donde las funciones son las siguientes:

$$f(t) = \lambda\beta(\lambda(t - \gamma))^{\beta-1} e^{-(\lambda(t-\gamma))^\beta} \quad (26)$$

$$F(t) = 1 - e^{-(\lambda(t-\gamma))^\beta} \quad (27)$$

$$S(t) = e^{-(\lambda(t-\gamma))^\beta} \quad (28)$$

$$h(t) = \lambda\beta(\lambda(t - \gamma))^{\beta-1} \quad (29)$$

$$H(t) = (\lambda(t - \gamma))^\beta \quad (30)$$

$\gamma$  es el parámetro de posición, pudiéndose llamar también parámetro de diferenciación o de localización. Indica la fecha de inicio de los fallos.

- Si  $\gamma > 0$ , hay supervivencia total entre  $t=0$  y  $t=\gamma$ .
- Si  $\gamma = 0$ , los fallos empiezan en el origen de tiempo.
- Si  $\gamma < 0$ , los fallos han empezado antes del origen de tiempo. [15]

### 3.7.3.3. Modelo Gamma

De forma similar a lo que ocurría con la distribución Weibull, la distribución Gamma también permite modelar las tres etapas características de la curva de la bañera (tasas de fallo crecientes, constantes y decrecientes). Además, la distribución Gamma también puede interpretarse como una generalización de la exponencial. [22]

La función densidad de la distribución Gamma es:

$$f(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^{k-1}e^{-\lambda t}}{\Gamma(k)} \quad (31)$$

Debido a la complejidad de la integral resultante no existe, en general, una forma cerrada para la función distribución  $F(t)$ .

- Si  $0 < k < 1$   $h(t)$  es decreciente
- Si  $k = 1$   $h(t)$  es constante
- Si  $k > 1$   $h(t)$  es creciente

Donde  $k$  es el parámetro de forma y  $\lambda$  el de parámetro de escala.

En las figuras 3.24, 3.25, 3.26 y 3.27 se muestran las diferentes formas de las funciones de la distribución Gamma cuando los parámetros característicos toman valores diferentes.

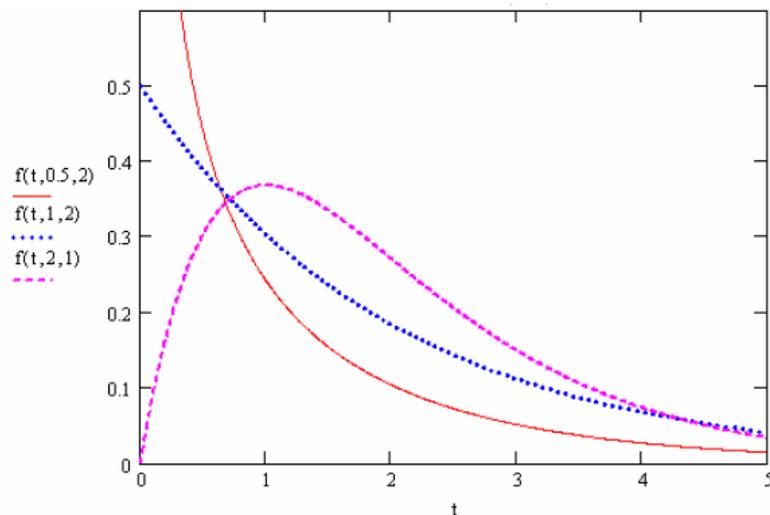


Figura 3.24. Función densidad  $f(t, k, \lambda)$ . [22]

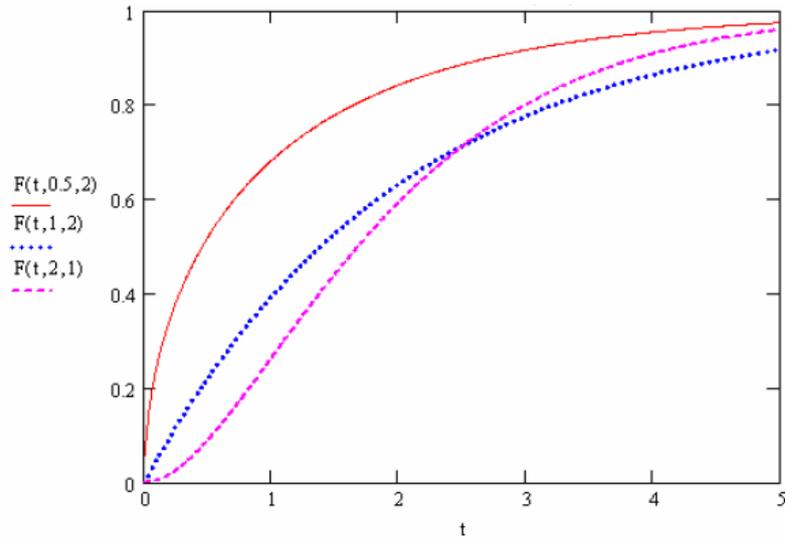


Figura 3.25. Función distribución  $F(t, k, \lambda)$ . [22]

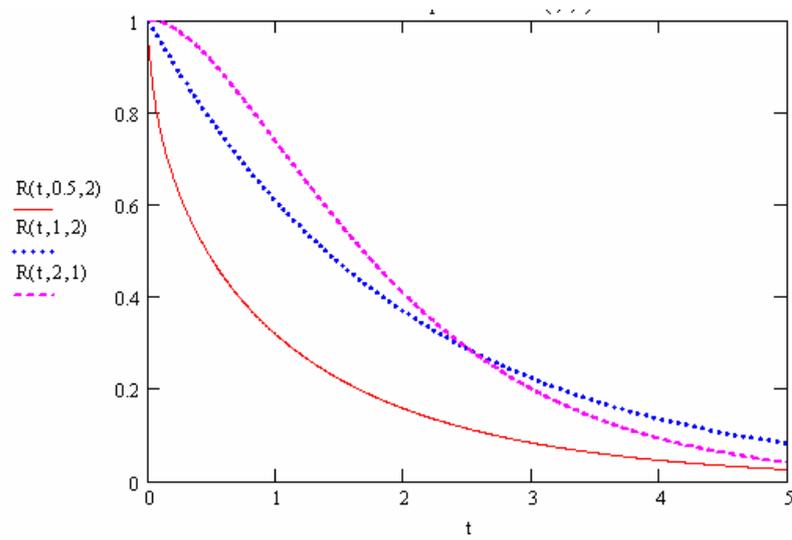


Figura 3.26. Función de supervivencia  $R(t, k, \lambda)$ . [22]

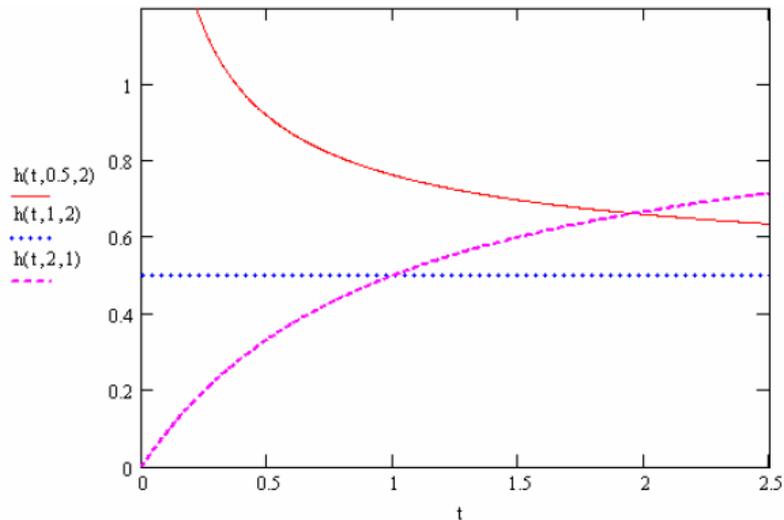


Figura 3.27. Tasa de fallos  $h(t, k, \lambda)$ . [22]

### 3.7.3.4. Modelo Lognormal

La distribución normal, sin duda la más importante de las distribuciones estadísticas, no resulta de mucho interés a la hora de modelar tiempos de fallo. Ello es debido al hecho de que la distribución normal admite valores negativos, lo cual contrasta con el hecho de que los tiempos transcurridos hasta el fallo sean siempre valores positivos. Para solventar esta dificultad, se suele recurrir a la distribución log-normal, derivada de la normal, que sólo considera valores positivos. [22]

La función densidad es:

$$f(t) = \frac{1}{t\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (32)$$

$\mu$  es la media y  $\sigma$  es la desviación estándar.

Como ocurría en la función anterior debido a la complejidad de la integral resultante no existe, en general, una forma cerrada para la función de distribución  $F(t)$ .

Las gráficas que representan las diferentes funciones de la distribución Lognormal para distintos valores de los parámetros se muestran en las figuras 3.28, 3.29, 3.30 y 3.31.

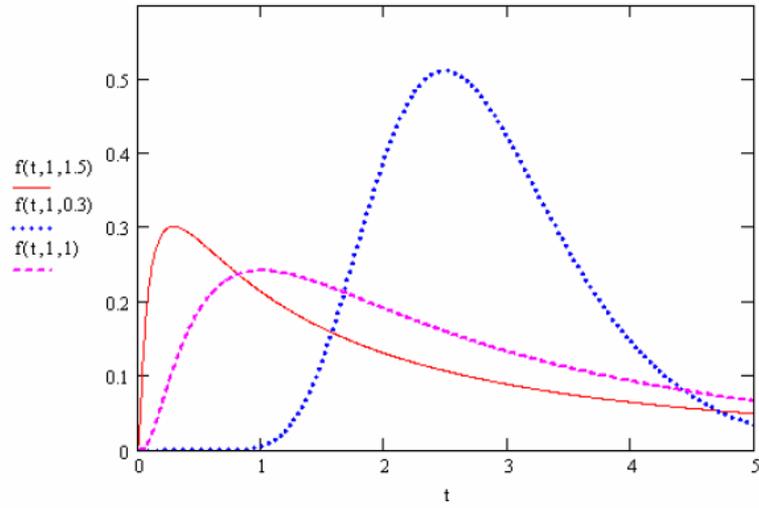


Figura 3.28. Función densidad  $F(t, \mu, \sigma)$ . [22]

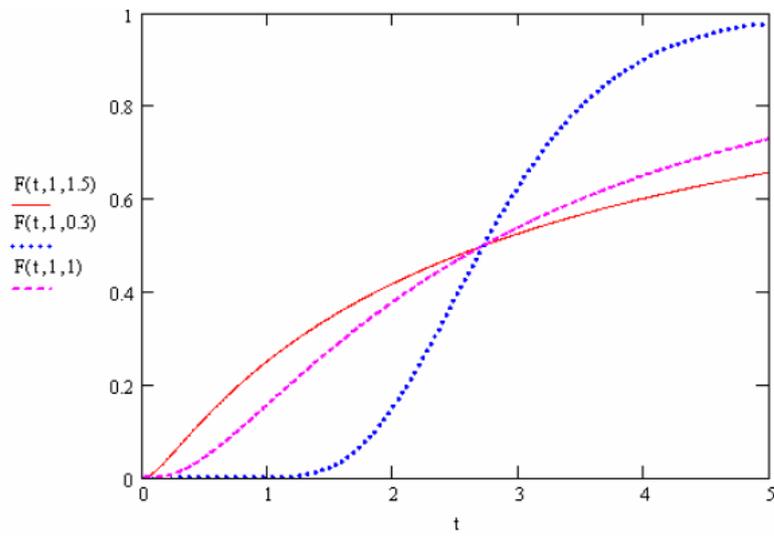


Figura 3.29. Función distribución  $F(t, \mu, \sigma)$ . [22]

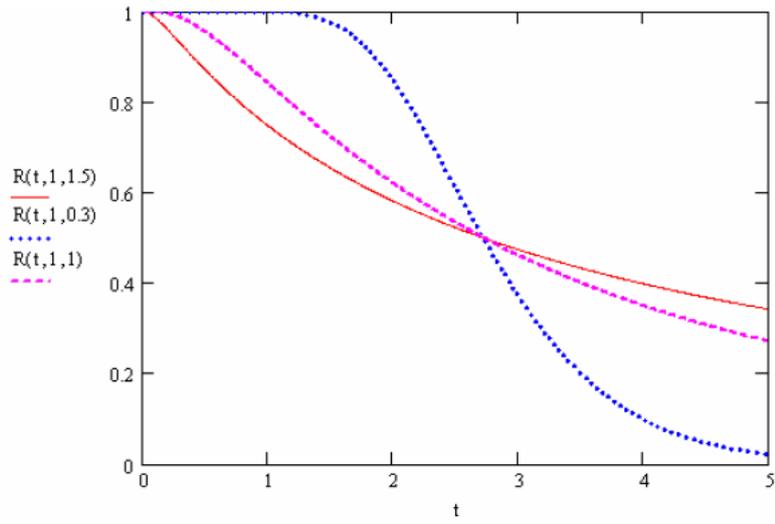


Figura 3.30. Función supervivencia  $R(t, \mu, \sigma)$ . [3]

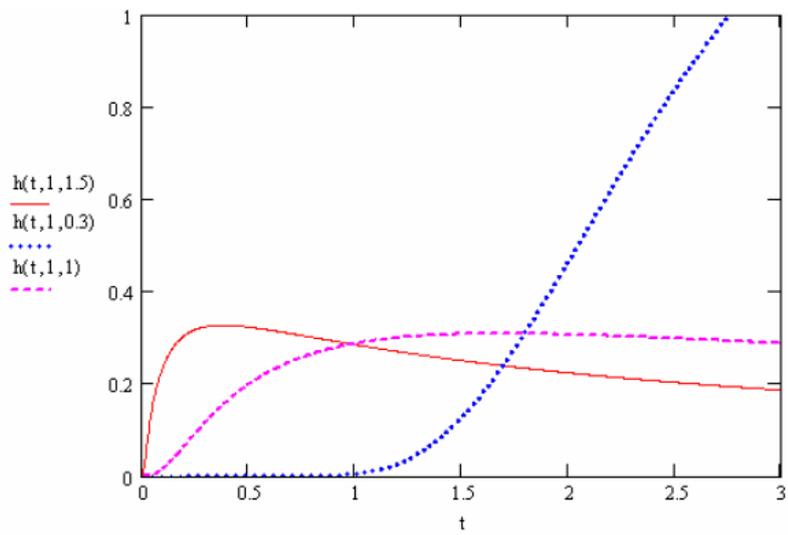


Figura 3.31. Tasa de fallos  $h(t, \mu, \sigma)$ . [3]



# 4. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

---

En este capítulo expondremos las diferentes hojas de datos de las que disponemos para realizar los estudios posteriores.

Del parque eólico se toman gran variedad de datos de los que tendremos que escoger los datos que consideremos más interesantes para nuestro estudio. Algunas de las variables que se obtienen de los cuatros parques son: velocidad del viento, temperaturas de diferentes partes del aerogenerador, tiempos en mantenimiento, tiempos en fallo, potencia, fallos, energía total, energía reactiva, energía consumida total, dirección media del viento, disponibilidad PLC, contadores de producción...

De todas estas variables, la que más nos interesa para este estudio son los fallos de cada máquina. También utilizaremos la variable de la velocidad del viento para analizar el tiempo en el que las máquinas han podido estar en funcionamiento respecto al periodo del tiempo estudiado.

## 4.1. DATOS DE LOS FALLOS

Partimos de un histórico de fallos de cada parque. Existe un documento de fallos para cada año del 2008 al 2013 de cada parque, sin embargo, no todos los documentos contienen la información completa de todo el año. Para nuestro estudio hemos escogido el periodo de tiempo de un año, del 1 de enero del 2011 hasta el 31 de diciembre del 2011.

Los documentos de fallos guardan mucha similitud entre los parques de Oncala-Magaña y El Cayo-Castilfrío.

### El Cayo y Castilfrío

En los históricos de datos de El Cayo y Castilfrío la información aparece en forma de tabla de la siguiente manera:

Inicio	Fin	Duración	Tipo Máquina	Nº	Tipo	Código	Texto Error

Inicio: fecha y hora exacta de la aparición del fallo

Fin: fecha y hora exacta de la finalización del fallo

Duración: duración del fallo

Tipo de Máquina: modelo de aerogenerador

Nº: número de aerogenerador donde se ha producido el fallo

Tipo: grupo al que pertenece el fallo

Código: código del fallo

Texto error: nombre del fallo

En este caso disponemos de una clasificación de los fallos por grupos, esto nos será de gran utilidad para el estudio posterior de fiabilidad. Los grupos en los que hemos clasificado los fallos serán los siguientes:

- Central Hidráulica
- Convertidor
- Vibraciones
- Generador
- Hardware
- Multiplicador
- Congelación Anemómetros
- Orientación
- Rotor
- Paso
- Red
- Reenvío
- N/A, nieve en palas

La tabla 4.1 nos muestra los tipos de fallos que se pueden dar en los aerogeneradores y el grupo al que pertenecen:

Tabla 4.1. Reagrupamiento de los fallos producidos en el parque de El Cayo y Castilfrío.

FALLO	GRUPO
Nivel CH	CENTRAL HIDRÁULICA
Baja Presion CH	
Temperatura CH	
Termico Central Hidráulica	
Termico Interc CH	
Excesivas Conex. CH	
Error CF OK	CONVERTIDOR
CF Modulo Error	
Temperatura Igct T	
CF Ree ICGT Inv	
CF Fallo Vcc	
CF Precarga Cond	
CF Ree ICGT CH	
CF Ventilador	
Temperatura Igct R	
CF Seta Emg.	
CF Fallo Inversor	
Temperatura Igct chp	
Temperatura Igct S	
CF Alim. Driver/Maniobra	
CF Alta I choppper	
Temp Linv	
Temp L chopper	
Temp diodo chp	
CF alta I.inv	
Temp diodos	
Exc.Vibrac Externas	VIBRACIONES
Vibracion Externas	
Excitación Gen	GENERADOR
Termico Int Gen	
Temp Rod Gen Del	
Corr.Asim.LG	
Corr.Altas	
Sobreprod.LG	
Termistor Softstart	
Sensor Gen	
TempLG fase R	
TempLG fase S	
TempLG fase T	

DP Módulo Mix	HARDWARE
DP Modulo Aux	
Checksum VIB	
DP Módulo Net	
MIX TX Error	
Error WD PSC2	
Error PSC2	
Termico Bomba Mult	MULTIPLICADOR
Nivel Multiplicador	
Caudal Multi	
Temp Rod Mult	
Temp Multi	
Termico Int Multi	
Error relación Anemo/Potencia	CONGELACIÓN ANEMÓMETRO
Excesivo tiempo Orientado	
Vientos altos	DIVERSO
Sobrevelocidad	
Viento alto por beta alto	
Sobrevel. Ext	
Parada de emergencia	
Sobrevel.ext redundante	
Excesivo tiempo orientando en producción	ORIENTACIÓN
Termico GG	
Err desenrollando	
Baja presión rotor	ROTOR
Llave rotor	
Err posición stop	PASO
Err posición espera	
Baja presión acumulador emergencia	
Error Sincronismo	
Tension Baja	RED
CF Fallo red	
Tension Alta	
Tension Muy Alta	
Ree. Bomba CH	REENVÍO
Ree. Bomba Mult.	
Ree. Contactores CF	
Ree. Inter. CH	
Ree. Inter. Generador	
Ree. Inter. Mult.	
Ree. Or. Dcha.	
Ree. Or. Izda.	



Nieve en palas	N/A
----------------	-----

### Oncala y Magaña

Para los datos registrados de los parques eólicos Oncala y Magaña el formato que tenemos es el siguiente:

Unidad	Serial no.	Code	Texto Error	Detectado	Reinicializar	Duration	Log type	Software version
/	/	/	/	/	/	/	/	/

Unidad: Número de aerogenerador.

Serial no. : Número de serie.

Code: Código.

Texto Error: Texto del fallo.

Detectado: Fecha de comienzo del fallo.

Reinicializar: Fecha de finalización del fallo.

Duration: Duración del fallo.

Log type: Tipo de alarma

Software version: Versión del Software

En el parque de Oncala y Magaña no está hecha la distribución de los fallos en grupos, por lo que se establecen los grupos para estos dos parques.

En los grupos que hemos establecido no introduciremos los fallos que no producen parada o que no computen para la disponibilidad, por lo tanto en la lista de fallos existirán algunos fallos que no estarán incluidos en ningún grupo.

Los grupos de fallos que hemos establecido y en los que se van a dividir los fallos son:

- Central Hidráulica
- Red
- Vibraciones
- Generador
- Sistema de freno mecánico
- Control
- Tren de potencia
- Anemómetro/Veleta
- Orientación

- Diverso, paradas por factores externos.

La tabla 4.2 muestra los fallos clasificados por grupos del parque de Oncala:

Tabla 4.2. Reagrupamiento de los fallos producidos en el parque de Oncala.

FALLOS	GRUPO
Hydraulic error calipers	CENTRAL HIDRAULICA
Hydraulic error wingtips restart	
Hydraulic error wingtips startup	
Overload hydraulic pump	
Service hyd. tips	
Circuit braker fault	
Max. pres. wingtips	
Processor 2 power up	RED
Control voltage missing	
24 V power missing	
Vibration guard	VIBRACIONES
Vibrations	
Generator G feedback missing	GENERADOR
Generator overspeed 1	
Generator overspeed 2	
Overproduction generator G	
Cut out negative kW	
Low production active	
Overload water pump	
Caliber brake hot	SISTEMA DE FRENO MECÁNICO
Brake worn Svendborg	
Max number of brake worn	
PS. caliper error	CONTROL
Max cut-in	
By-pass feedback missing	
Vector surge	
PT-100 error	
Rotor overspeed	
Emergency line fault	

External alarm	
Gear oil hot	TREN DE POTENCIA
Gear oil hot - short term	
Gear oil temp. too low	
Overload gear oil pump	
Main bearing hot	
Windvane 2 defective	ANEMÓMETRO
Windvane error	
Anemometer error 2	
Overload yawmotors	ORIENTACIÓN
Yaw indicator error	
Max yaw time	
Untwist sensor error	
SERVICE	DIVERSO
Emergency stop	
Fatal overwind	
Manual stop keyboard	
Manuel stop topbox	
Overspeed guard	
Repos switch	
Test comp.(current)	
Test comp.(kVAr)	

Para el caso de Magaña la identificación de los fallos es diferente por lo tenemos que establecer otra lista con los fallos del parque de Magaña, tabla 4.3.

Tabla 4.3. Reagrupamiento de los fallos producidos en el parque de Magaña.

FALLOS	GRUPO
Tip brake braking too slow	CENTRAL HIDRÁULICA
Tip brake pump overload	
Tip brake valves test fault	
Tip brakes pressure too high	
Tip brakes pressure too low	
Tip brakes too slow	
Pump time shaft brake restart	
Pump time shaft brake too long	

Pump time tip brakes restart	
Pump time tip brakes too long	
Press. sensor fault tip brake	
24 VDC supply off	RED
Asymmetric current fast	
Cut-in frequency fault	
Cut-in phase sequence fault	
Main CB 1 tripped	
Main CB off	
Vibration sensor fault TAC84	VIBRACIONES
Vibration TAC84	
Vibration in nacelle	
Cut-in overspeed	GENERADOR
Gen. g CB tripped	
Gen. G contactor open	
Generator G temp. high	
Long avg. power gen. G high	
Pt100 fault gen. G W1	
Pt100 fault gen. G W2	
Pt100 fault gen. g W3	
Press. Sensor fault shaft brake	SISTEMA DE FRENO
Safety braking too slow	
Shaft brake pump overload	
Shaft brake 1 hot	
Shaft brake 1 worn	
shaft brake too slow	
shaft brake pressure too high	
shaft brake pressure too low	
By-pass contactor open	CONTROL
CB tripped top box	
Pt100 fault transformer	
Pt100 fault transformer W2	
Pt100 fault yaw rim	
Pt100 fault generator G	
Sensor fault / direction TAC85	
Speed sensor fault TAC84	
Overspeed guard TAC85	



Transformer temp. high	
Vector surge	
TOI number 1 comm. Fault	
TOI number 2 comm. Fault	
Generator overspeed 1	
Generator overspeed 2	
Speed change g->G fault	
Rotor overspeed	
Emergency relay open	
Gear oil pump overload	TREN DE POTENCIA
Gear oil temp. high	
Gear oil temp. low	
Gear bear.front temp. high	
Gear bear.front temp. low	
Gear bear. rear temp. high	
Gear bear. Rear temp. low	
Gear box ratio fault	
Off-line filter pump overload	
Gear oil filter clogged	
Pt100 fault gear oil	
Pt100 fault gear bear. Front	
Pt1000 fault gear bear. Rear	
Pt100 fault gear oil filter	
Pt100 fault gear oil exchanger	
Anemometer 1 fault	ANEMOS/VELETA
Wind vane 1 fault	
Wind vane 2 fault	
Wind vane fault	
Too long CCW yaw	ORIENTACIÓN
Too long CW yaw	
Yaw motor overload	
Yaw rim temp. high	
Emergency stop	DIVERSO
Manual stop keyboard	
Manual stop top box	
Platform switch	
Service switch tip brake	
Service key	
Max automatic reset times	

Max stop time	
---------------	--

#### 4.1.1. Descripción de los grupos de fallos

Normalmente las averías que se dan en los aerogeneradores suelen ser pequeñas averías que se pueden arreglar en poco tiempo, menos de 24 horas. Las averías pueden deberse a:

- Condiciones de operación.
- Mala reparación de un componente.
- Fallo de calidad o diseño del componente.
- Fallo humano.
- Rearme local por seguridad del aerogenerador, al detectarse vibraciones extrañas, presiones inseguras, exceso de temperaturas o torsión de cables.
- Rearme remoto ocasionalmente debido a fallos de lectura o funcionamiento temporal. [10]

#### *Central hidráulica*

El grupo Central hidráulica proporciona la presión necesaria para los componentes accionados hidráulicamente, como pueden ser los frenos, el sistema de control de pitch, grúas o el sistema de bloqueo del rotor. Estos grupos hidráulicos plantean exigencias muy elevadas. Este grupo engloba, figura 4.1:

- Grupo de presión, que suministra el fluido hidráulico a una determinada presión.
- Conductores hidráulicos, que conducen el fluido hasta el punto de utilización, figura 4.2.
- Válvulas de control, que adecuan la presión y el caudal del fluido en base al actuador a accionar.

Si la presión del aceite es demasiado baja, ya no funcionará correctamente, por ejemplo, el ajuste de las palas del rotor o el sistema de frenado hidráulico. En estos casos, los sensores electrónicos de presión emiten señales de alarma al controlador y los transmisores de presión pueden garantizar una supervisión continua de la presión hidráulica en la instalación a través de la salida analógica.

Con el fin de evitar un fallo del sistema debido a la falta de aceite hidráulico, se utilizan sensores de nivel para informar al sistema de control de que se ha alcanzado un nivel mínimo.



**Figura 4.1.** Grupo Central Hidráulica del parque eólico El Cayo.

El grupo de *Central Hidráulica* incluye fallos que se dan en sistemas mecánico-hidráulicos, principalmente por la degradación del aceite. De estas averías el 70/80 % están relacionadas con la contaminación del aceite.



Figura 4.2. Manguera degradada. Fuente: [21]

### **Red y convertidor**

En este caso el grupo de *Convertidor* en los parques de Castilfrío y El Cayo y el grupo de *Red* en los de Oncala y Magaña se refieren a fallos que guardan relación con la tensión: sobretensiones e intensidades de la línea, derivación entre fases, tormentas eléctricas, detección de puntos calientes en sistemas eléctricos, averías que sufren motores y ventiladores eléctricos...

Existe un grupo *Red* en los parques de Castilfrío y El Cayo en el que se detectan fallos de tensión baja, tensión alta, tensión muy alta y fallo de red. Estos fallos no computan para la realización de la fiabilidad y disponibilidad ya que es un fallo externo a la máquina.

### **Vibraciones**

Este grupo engloba la detección de un nivel de vibración mayor que el de correcto funcionamiento dentro de la góndola. Para ello existe un péndulo dentro de ésta que activará el sensor si la oscilación del péndulo sobrepasa un cierto valor.

### **Generador**

Para optimizar la vida útil del generador debemos controlar una serie de parámetros. Un parámetro importante es la refrigeración del generador, así como la lubricación de los rodamientos del generador. Otros de los fallos que pueden darse en el generador pueden deberse a un defecto del aislamiento, un mal conexionado en el bornero, falta de aislamiento en el estator...

### *Sistema de freno mecánico*

Este grupo existe solo para los parques de Oncala y Magaña en los que distinguimos los fallos debidos al freno aerodinámico y al freno mecánico. En este grupo se incluyen los fallos debidos a valores anómalos en el freno mecánico, como por ejemplo, presión o temperatura.

### *Hardware o Control*

En estos dos grupos, *Hardware* para Castilfrío y El Cayo y *Control* para Magaña y Oncala, se miden parámetros de control para el buen funcionamiento del aerogenerador. Algunos de estos fallos pueden deberse a un desajuste del sensor por el funcionamiento, valores de velocidad, valores de temperatura...

### *Multiplicador o Tren de potencia*

El grupo *multiplicador* para los parques de Castilfrío y El Cayo y *Tren de potencia* para Oncala y Magaña, incluye los fallos que ocurran en la multiplicadora y en el rodamiento principal. La multiplicadora es optimizada en cuanto a vida útil, peso, tamaño, complejidad de mantenimiento y costes. Para conseguirlo es necesario supervisar todos los parámetros importantes, como el estado del nivel de aceite, la temperatura del mismo y la lubricación de todas las piezas giratorias.

En la multiplicadora, las principales averías que se pueden dar son las relacionadas con la degradación y rotura de las ruedas dentadas y los piñones, con los rodamientos por falta de lubricación, principalmente, o porque se han introducido objetos extraños que han provocado daños, averías o desgaste. También pueden ser provocadas por fatiga por flexión, por fatiga por contacto, por deformación plástica o por fatiga por fricción. Más comunes son las averías debidas a la degradación del aceite: retenes dañados, mal conexionado en refrigeración hidráulica y filtros. [21]

En la figura 4.3 se muestra el estado de degradación y aplastamiento de las ruedas dentadas de una caja multiplicadora del parque eólico de Oncala.



**Figura 4.3.** Degradación y aplastamiento de ruedas dentadas de una caja multiplicadora del aerogenerador NM 48/750.

#### ***Anemómetro y veleta***

Estos son fallos ubicados en la zona del anemómetro y la veleta. Puede ser fallos debidos a la orientación del anemómetro o debido a condiciones climáticas adversas. Se produce, en ocasiones, una congelación del anemómetro en los meses de invierno, lo que impide el correcto funcionamiento de la máquina. La mayoría de los fallos registrados en este periodo de tiempo son causados por la congelación de los anemómetros, esto hace que se produzcan varios fallos en periodos cortos de tiempo. La figura 4.4 muestra una fotografía de la congelación del anemómetro y la veleta de un aerogenerador *Made* serie 800 AE 52.



Figura 4.4. Congelación del anemómetro y la veleta. Fuente: CETASA

### ***Orientación***

En este grupo se incluyen fallos en el sistema orientación que se emplea para girar automáticamente el rotor eólico y la góndola de tal forma que la dirección del viento incidente sea lo más perpendicular posible al plano de giro de las palas. Uno de estos fallos es el de desenrollado de los cables, el cual no se tiene en cuenta a la hora de realizar las disponibilidades.

### ***Rotor***

El grupo *Rotor* existe para los parques de Castilfrío y El Cayo y alberga dos fallos: baja presión rotor y llave de rotor.

### ***Paso***

Los parques de Castilfrío y El Cayo son de paso variable por lo que tienen una serie de sensores que miden ciertos parámetros para el correcto funcionamiento de este mecanismo. Si alguno de estos parámetros no es correcto saltará el error y la máquina se parará.

### ***Diverso***

En este grupo incluimos paradas de la máquina por causas externas. Estas causas pueden ser debidas a factores climáticos (excesiva velocidad de viento) o por factores humanos (mantenimiento, paradas de emergencia...).

### ***Reenvío***

Hace referencia a los fallos de las señales que se envían al control.

*N/A*

Este fallo se produce cuando existe nieve en las palas de los aerogeneradores. No tendremos en cuenta este grupo para la realización del estudio de la fiabilidad porque no produce parada en las máquinas.

## **4.2. DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO**

En la hoja de datos de la velocidad del viento se encuentran registrados los datos de velocidad de viento diezminutales en cada aerogenerador. Para cada parque tenemos una hoja de datos de velocidad del viento. Utilizaremos estos datos en el apartado 6 para realizar un estudio sobre el tiempo que los aerogeneradores pueden estar en funcionamiento respecto al tiempo total estudiado.

Estos datos de cada parque se encuentran en varias hojas de *Excel*, en cada una de las hojas se encuentran los datos de la velocidad del viento de cada mes de los 33 aerogeneradores. También existe una hoja resumen en la que aparecen los datos del año completo.

En nuestro caso, utilizaremos el contador de la velocidad del viento del año 2011 para que guarde una relación temporal con el estudio realizado de los fallos en ese mismo periodo.



# 5. DIAGRAMAS DE PARETO

---

## 5.1. INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar el análisis de la fiabilidad vamos a realizar un análisis previo mediante los diagramas de Pareto.

Aplicaremos la Ley de Pareto a la fiabilidad para definir, del conjunto de grupos del aerogenerador, a qué grupos deberemos prestar más atención respecto a la fiabilidad. Este estudio trata de evitar desperdiciar tiempo y recursos en atender grupos no críticos.

El diagrama de Pareto está basado en la “ley 80-20” o de “los pocos vitales y muchos triviales”, enunciada por el economista italiano Vilfredo Pareto a principios de siglo.

En esto consiste la “Ley 80-20”: en un 20% de los factores o causas se concentra el 80% del efecto. Por supuesto, son números redondos, simbólicos. También es conocido este principio como “curvas ABC de Pareto”: los factores o causas “A” se corresponderían con el 20% que soporta el 80% del peso total del problema. [7]

Las curvas ABC se pueden utilizar para un análisis global del equipo, pero son demasiado “pesadas” para analizar cada módulo. La curva ABC, representada en la figura 5.1, permite determinar el orden de prioridad de acciones de mantenimiento de mejora dirigidas a los módulos más

penalizantes. En este caso, los “gráficos n-t” (figura 5.2) son más rápidos y más ricos para la explotación. [15]

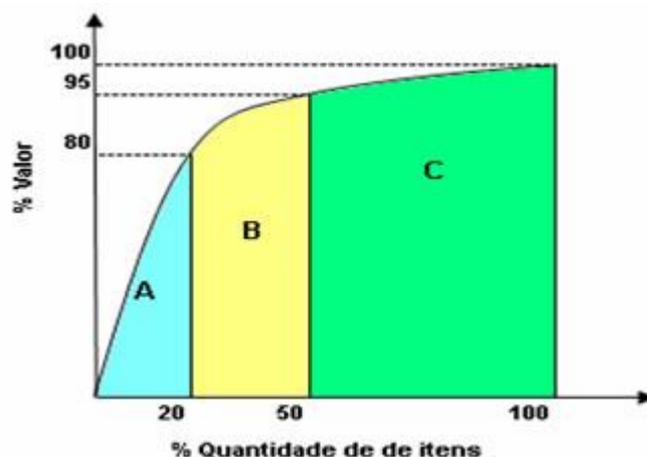


Figura 5.1. Curva ABC. [26]

El orden a tener en cuenta de los grupos frágiles se puede visualizar en una “gráfica de Pareto”.

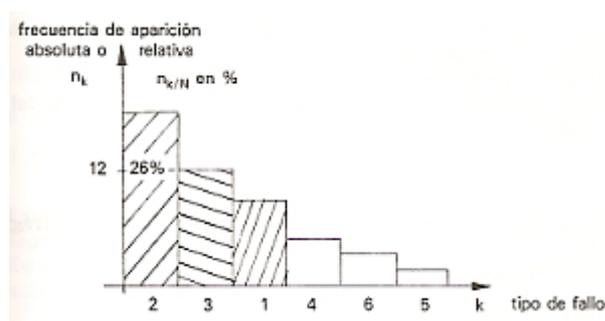


Figura 5.2. Gráfico de Pareto. [15]

Un primer análisis permite separar los defectos llamados “normales” y eliminar los defectos “extrínsecos”, a corregir si es posible, pero no a tener en cuenta en fiabilidad.

Estos defectos están relacionados corrientemente con una mala utilización o con un ambiente de funcionamiento excepcional.

Para los fallos “normales”, un análisis más detallado permitirá orientar la política de mantenimiento a poner en práctica. Para ello, se trazan tres gráficos de Pareto, gráficos llamados “n-t”.

## 5.2. METODOLOGÍA

Los pasos a seguir en la aplicación de esta técnica se dividen en dos etapas:



- Obtención de los datos.
- Elaboración del diagrama.

### 5.2.1. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Para la obtención de datos utilizaremos hojas de datos de los fallos registrados en el 2011. En esta hoja estarán incluidos los fallos en su grupo correspondiente. De cada grupo sacaremos los siguientes datos:

- Número de fallos de cada grupo de cada aerogenerador.
- Tiempo medio de parada de cada grupo de cada aerogenerador.

### 5.2.2. ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA

Se van a realizar tres diagramas de Pareto, situado sucesivamente en ordenadas:

$n_k$ : frecuencia de aparición en %,

$n$ : número de fallos registrados por familia,

$n \cdot t$ : producto “artificial” de los datos precedentes, donde  $t$  es la media de las duraciones de intervalos consecutivos a estos fallos.

- **Gráfico en  $n_k$**

Para realizar este diagrama debemos sacar el total del número de fallos de cada aerogenerador y posteriormente el porcentaje de aparición que le corresponde a cada grupo.

En este gráfico se representaran los datos de dos formas distintas. La primera forma será representando el porcentaje de cada grupo en forma de barras; la segunda forma se representaran los porcentajes acumulados.

- **Gráfico en  $n$**

Para la realización de este gráfico necesitamos el dato del número de fallos de cada grupo.

Este gráfico orienta hacia la mejora de la **fiabilidad** para los órganos frágiles, acciones a considerar:

- modificaciones técnicas;
- consignas de conducta;
- vigilancia acrecentada;
- medidas preventivas.

[15]

- **Gráfico en  $n \cdot t$**

Para este gráfico tenemos que calcular el producto del número de fallos por el tiempo medio de duración de estos fallos.

El gráfico es un indicador de la **disponibilidad** (nt estima la pérdida de disponibilidad debida a cada grupo).

Igualmente indica los costes de fallo, admitiendo que  $C=k \cdot n \cdot t$ . Permite, pues, seleccionar el orden de preferencia de los tipos de fallo en función de su criticidad. [15]

En todos los gráficos representarán los datos ordenados de mayor a menor para poder ver con mayor claridad los grupos más representativos.

A continuación mostraremos, como ejemplo, tres de los gráficos realizados en este estudio.

En la figura 5.3 aparece representado el gráfico  $n_k$  del aerogenerador 1 del parque eólico El Cayo, donde podemos observar que el grupo con mayor porcentaje de fallos es el grupo *Multiplicador* y que representaría más del 20% de los fallos, seguido del grupo convertidor y *Central Hidráulica*. Estos tres grupos representan más del 60% de los fallos ocurridos en el aerogenerador 1.

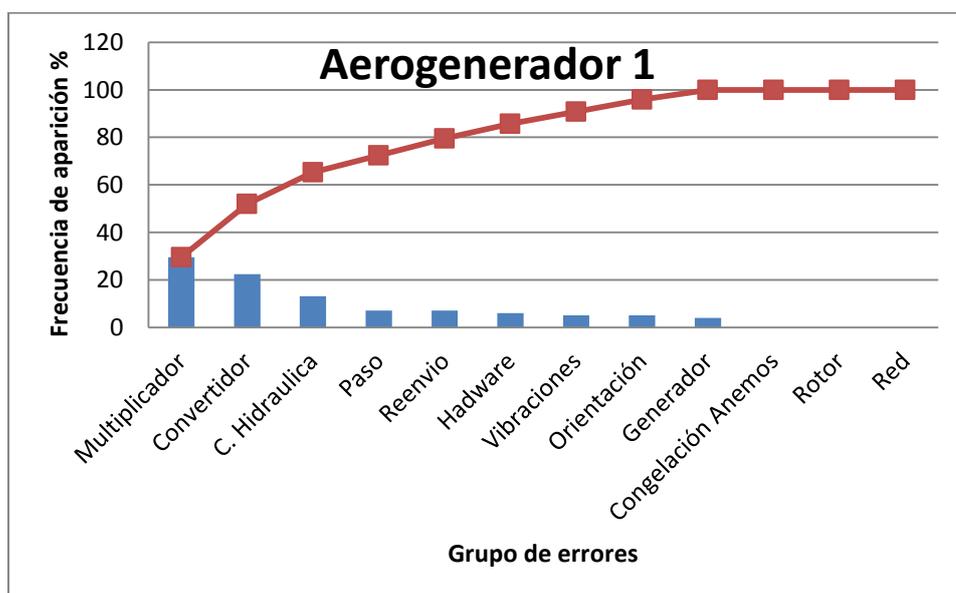


Figura 5.3. Frecuencia de aparición de errores.

En la figura 5.4 representamos el gráfico  $n$ , número de fallos por grupo, del aerogenerador 1 del parque eólico El Cayo.

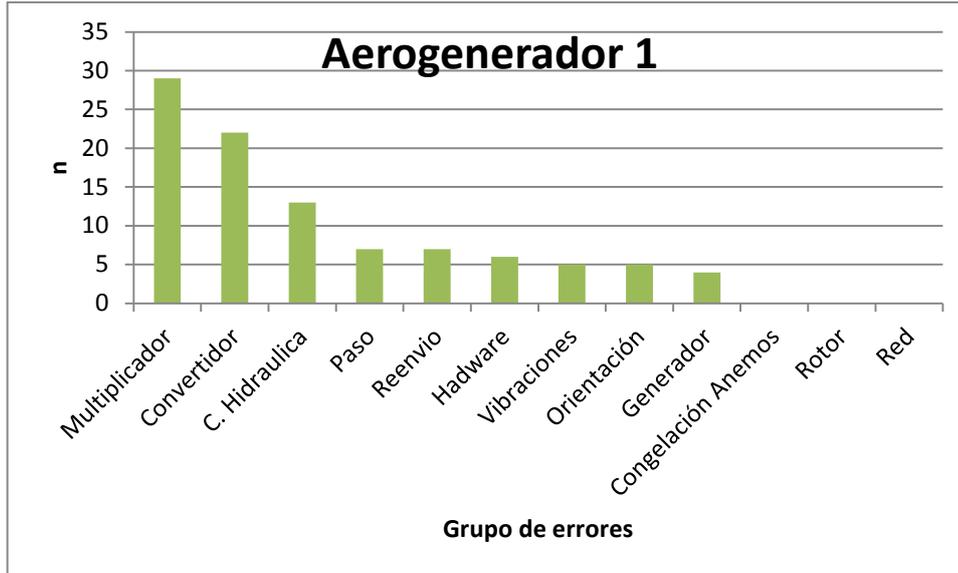


Figura 4. Número de errores

En la figura 5.5 se encuentra representado el gráfico  $n \cdot t$  del aerogenerador 1 del parque eólico El Cayo. Este gráfico nos da una idea de la indisponibilidad que produce cada grupo, un factor muy importante en nuestro estudio. Vemos en este caso que el grupo que mayor indisponibilidad produce es el grupo *Convertidor*. También comprobamos que el grupo que mayor número de fallos presenta (*Multiplicador*) no es el grupo que produce mayor indisponibilidad.

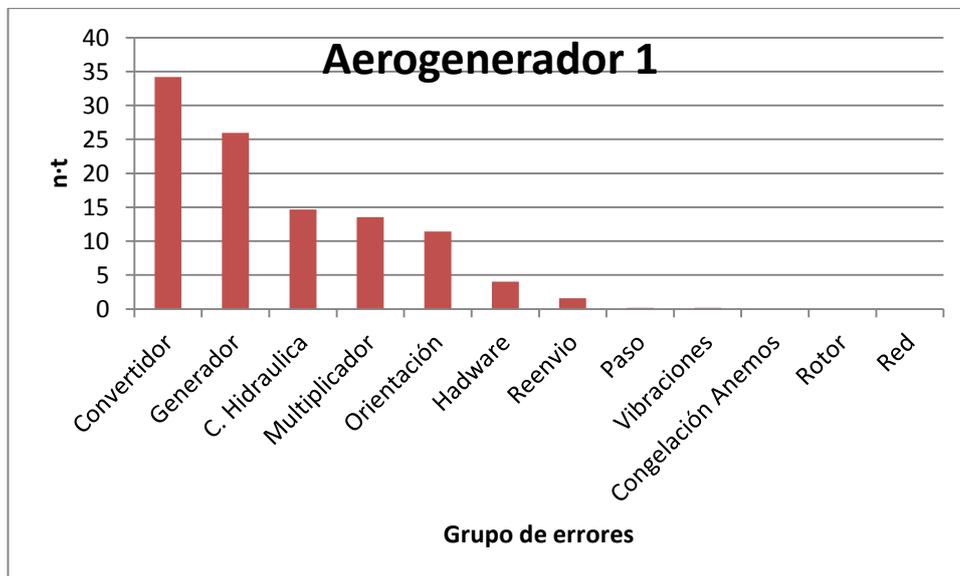


Figura 5. Gráfico  $n \cdot t$

En el Anexo B incluyen los gráficos  $n_k$  de cada aerogenerador.





# 6. ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

---

## 6.1. INTRODUCCIÓN

El viento se genera por el calentamiento desigual que sufre la tierra. El calentamiento es más intenso cerca del ecuador y durante el día, esto quiere decir que las zonas más calientes se mueven sobre la superficie de la tierra en su movimiento de rotación. Generalmente el aire caliente sube, para después circular por la parte superior de la atmósfera y caer en las zonas más frías. A nivel del suelo la circulación es en sentido inverso. El efecto combinado del desigual calentamiento de la tierra y de las fuerzas centrífugas y de Coriolis debidas a la rotación, da lugar a vientos a escala terráquea, con unas tendencias más o menos permanentes.

Una de las características más importantes del viento es su variabilidad tanto espacial como temporal, en un amplio rango de escalas. Si se examinan en un lugar fijo las medidas que da un anemómetro, se observa que su variación es aleatoria e incluye múltiples frecuencias que van desde periodos correspondientes a 0,1 s (10 Hz) hasta varios años. Hay variaciones con muy alta frecuencia totalmente aleatorias que diremos que son turbulentas. [24]

Hay variaciones estacionales o mensuales del viento. También es conocido que hay años de más viento, o hasta décadas, aunque estas variaciones a tan largo plazo sean menos predecibles, lo que en algunos casos puede dar lugar

a problemas a la hora de calcular la rentabilidad de un parque eólico. En la figura 6.1 se representa el espectro de la energía cinética del viento por unidad de masa, medido en el laboratorio Nacional de Brookhaven. [24]

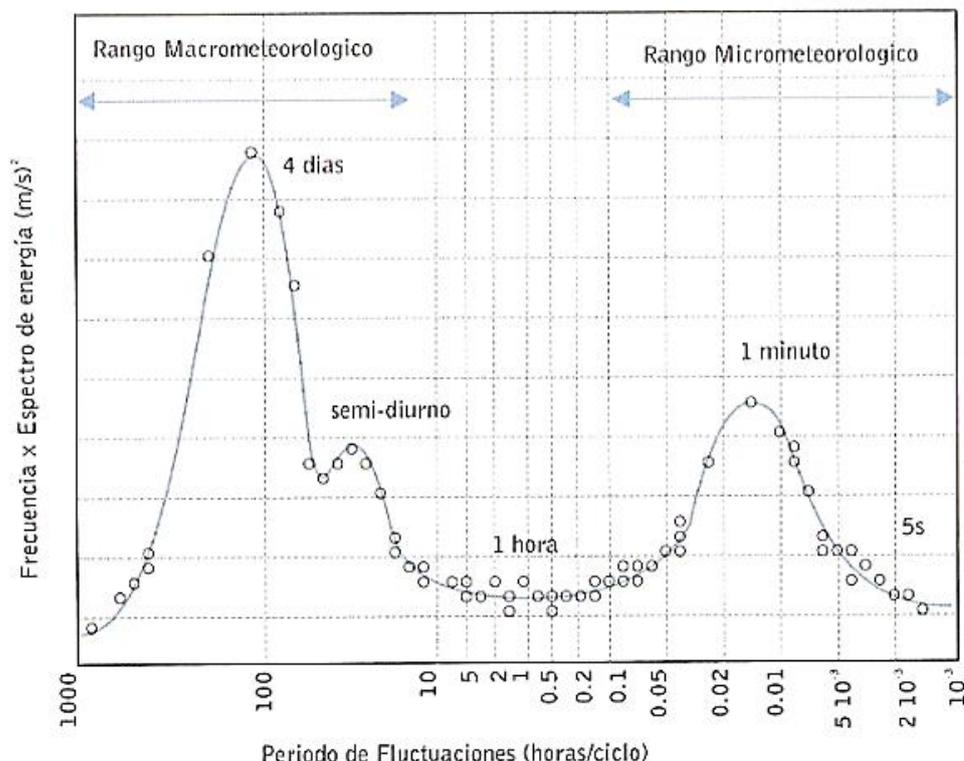


Figura 6.1. Espectro típico de las fluctuaciones del viento en todas las escalas. [24]

Esta curva indica cómo se distribuye la energía cinética media durante todo el periodo. Se observa que hay un pico alrededor de periodos cercanos a un minuto debido a la turbulencia, y otro correspondiente las variaciones diarias del viento. Existe un tercer pico, alrededor de cuatro días que representa el paso de frentes o núcleos de altas o bajas presiones.

Dado que las fluctuaciones turbulentas son aleatorias y requieren un tratamiento estadístico es aconsejable separarlas de las variaciones de tiempo diarias o estacionales. La forma de hacer esto es considerar el valor medio de la velocidad durante un periodo apropiado de tiempo,  $T$ , y suponer superpuestas al mismo las fluctuaciones turbulentas. El valor apropiado para  $T$  sería de 10 minutos. [24]

En la figura 6.2, gráfica A podemos ver representado la variación de la velocidad media del viento durante un día. En la gráfica B está representada de manera detallada la velocidad instantánea y su valor medio durante las dos primeras horas de la gráfica A.

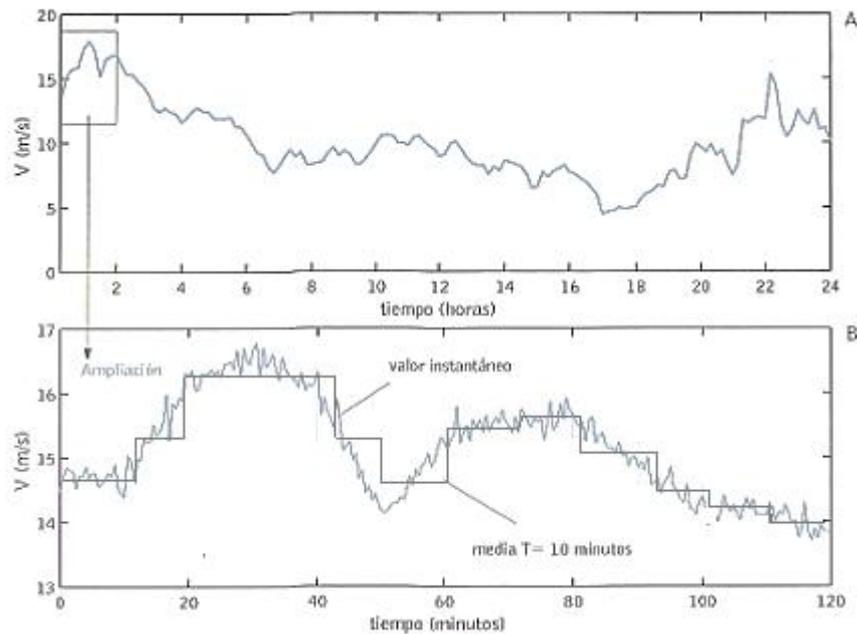


Figura 6.2. Variación de la velocidad media del viento. [24]

## 6.2. CÁLCULOS

Partimos de los datos de velocidad del año 2011 para los cuatro parques. Vamos a calcular la media anual de las velocidades del viento en cada aerogenerador, las horas de viento en el rango de buen funcionamiento y el porcentaje en el que el aerogenerador puede funcionar respecto al tiempo total.

Para el cálculo de la velocidad media del viento en el 2011 partimos de un documento en el que se encuentra la velocidad del viento cada 10 minutos. Este valor es la media de los valores que se han registrado en esos 10 minutos. Realizamos la media con el programa *Excel* con la función “promedio”.

Para el caso del cálculo de las horas de viento en el rango de funcionamiento, lo primero que tendremos que fijar es dicho rango. Cada aerogenerador posee un rango distinto de buen funcionamiento. A continuación establecemos los rangos de buen funcionamiento de las diferentes turbinas que tenemos:

- NM 48/750.  
Velocidad mínima: 4 m/s  
Velocidad máxima: 25 m/s  
Parque eólico: Oncala

- NM 52/900.  
Velocidad mínima: 3,5 m/s  
Velocidad máxima: 25 m/s  
Parque eólico: Magaña
- Made AE-52 Serie 800  
Velocidad mínima: 3,5 m/s  
Velocidad máxima: 25 m/s  
Parque eólico: Castilfrío y El Cayo

En el archivo de *Excel* donde tenemos los datos contaremos las celdas en las que la velocidad del viento se encuentra en este rango o es igual a los valores mínimo y máximo. Una vez que tenemos el número de celdas podemos establecer el tiempo total en horas que el aerogenerador puede funcionar debido a las buenas condiciones de viento.

Para el cálculo del porcentaje de posible funcionamiento del aerogenerador debido a las buenas condiciones del viento tenemos que dividir el tiempo de rango de funcionamiento entre el tiempo total, que en este caso es un año.

Tendremos un valor para cada aerogenerador y un valor total que será la media de los valores de las 33 máquinas.

Las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 muestran los datos obtenidos del estudio de la velocidad del viento

### Parque eólico Oncala

Tabla 6.1. Estudio de la velocidad del viento del parque eólico Oncala en el año 2011.

Aerogenerador	Velocidad media (m/s)	Tiempo en el rango de funcionamiento (horas)	Porcentaje en el rango de funcionamiento (%)
1	6,609693199	6466,833333	73,82229833
2	7,443556782	6665,666667	76,09208524
3	7,250131105	6729,5	76,82077626
4	7,338910521	6848,666667	78,18112633
5	7,608105358	7266,166667	82,94710807
6	7,064625198	7067,5	80,67922374
7	6,791784193	6768	77,26027397
8	8,153680322	7334,5	83,72716895
9	7,738602733	7228,333333	82,5152207
10	7,865304487	6955,5	79,40068493

11	7,463091748	7138,666667	81,49162861
12	8,154403143	7302,5	83,36187215
13	7,780563265	7210,833333	82,31544901
14	8,126423574	7209,333333	82,29832572
15	7,668828857	7218,166667	82,39916286
16	7,946251099	7237,666667	82,6217656
17	7,947385091	7112,666667	81,19482496
18	8,002501759	7230,833333	82,54375951
19	7,563818104	7220,333333	82,4238965
20	8,123817829	7303,166667	83,3694825
21	8,18834369	7433,833333	84,86111111
22	7,740299441	7280,666667	83,11263318
23	7,749062946	7271,333333	83,00608828
24	7,312579108	7076,5	80,78196347
25	6,697814112	6777,166667	77,36491629
26	6,562771527	6664,166667	76,07496195
27	7,142048607	6945	79,28082192
28	7,155662792	6753,666667	77,09665145
29	6,895743891	7022,833333	80,16933029
30	6,420812659	6188,666667	70,64687976
31	6,982433927	6706,666667	76,56012177
32	6,554363203	6471,333333	73,87366819
33	6,685649523	6415,5	73,23630137
<b>TOTAL</b>	<b>7,416032236</b>	<b>6985,520202</b>	<b>79,7433813</b>

### Parque eólico de Magaña

Tabla 6.2. Estudio de la velocidad del viento del parque eólico Magaña en el año 2011.

Aerogenerador	Velocidad media (m/s)	Tiempo en el rango de funcionamiento (horas)	Porcentaje en el rango de buen funcionamiento (%)
1	7,13603362	6790,666667	77,51902588
2	5,32750652	5218,166667	59,56811263
3	6,66926668	6619,666667	75,56697108
4	5,14797409	5123,166667	58,48363775
5	6,67885154	6685,333333	76,31659056
6	5,29340971	5146,666667	58,75190259
7	5,47367848	5290,666667	60,3957382
8	5,93365564	5708	65,15981735

9	5,78253545	5619,5	64,14954338
10	5,98740419	5752	65,66210046
11	5,73732153	5503	62,8196347
12	5,50970647	5563,833333	63,51407915
13	5,23185247	4934,833333	56,33371385
14	5,9111932	5589	63,80136986
15	6,17350053	5904,5	67,40296804
16	5,2886357	5037,5	57,50570776
17	5,72369296	5604,333333	63,97640791
18	5,53283884	5489,333333	62,66362253
19	5,85377735	5571,333333	63,59969559
20	5,99328421	5756,833333	65,71727549
21	6,29542945	6153,333333	70,2435312
22	6,9259458	6285,666667	71,75418569
23	6,89054645	6278,5	71,67237443
24	6,5857844	6016,5	68,68150685
25	6,54617741	6259,5	71,45547945
26	6,85013545	6367	72,6826484
27	7,05687582	6603,166667	75,37861492
28	7,05921299	6486,833333	74,05060883
29	6,70622186	6212,333333	70,91704718
30	6,49864496	6005,833333	68,55974125
31	6,29658519	5945,5	67,87100457
32	6,92442651	6482,333333	73,99923896
33	6,77689489	6308,666667	72,01674277
<b>TOTAL</b>	<b>6,17572728</b>	<b>5888,287879</b>	<b>67,21789816</b>

### Parque eólico Castilfrío

Tabla 6.3. Estudio de la velocidad del viento del parque eólico Castilfrío en el año 2011.

Aerogenerador	Velocidad media (m/s)	Tiempo en el rango de funcionamiento (horas)	Porcentaje en el rango de buen funcionamiento (%)
1	8,362906725	7498	85,59360731
2	8,51430148	7496,666667	85,57838661
3	8,410388362	7377,166667	84,21423135
4	8,655030064	7540	86,07305936
5	8,344548464	7418,166667	84,68226788
6	8,198725121	7333,5	83,71575342

7	8,046861324	7380,5	84,25228311
8	7,946520722	7405	84,53196347
9	7,641183354	7339,666667	83,78614916
10	7,302343304	7269,666667	82,9870624
11	7,788444267	7585,333333	86,59056317
12	7,702881798	7468,5	85,25684932
13	8,562313049	7660	87,44292237
14	9,15328329	7728,666667	88,22678843
15	8,657623587	7668,833333	87,54375951
16	8,645356205	7687	87,75114155
17	9,302775241	7868,333333	89,82115677
18	8,506047113	7663,5	87,48287671
19	8,152782852	7535,333333	86,01978691
20	7,934285687	7426	84,7716895
21	8,021691023	7309,666667	83,44368341
22	9,246668189	7802,666667	89,07153729
23	8,722670967	7613,666667	86,91400304
24	8,475355824	7601,833333	86,77891933
25	8,481183164	7448,666667	85,0304414
26	8,077203448	7477,5	85,35958904
27	8,357249686	7315	83,50456621
28	8,976713476	7599,833333	86,75608828
29	8,906216463	7630,333333	87,1042618
30	8,642752217	7486,333333	85,46042618
31	8,356852951	7498,5	85,59931507
32	8,63288998	7668,166667	87,53614916
33	8,441103436	7514	85,77625571
<b>TOTAL</b>	<b>8,399004631</b>	<b>7524,727273</b>	<b>85,89871316</b>

### Parque eólico El Cayo

Tabla 6.4. Estudio de la velocidad del viento del parque eólico El Cayo en el año 2011.

Aerogenerador	Velocidad media (m/s)	Tiempo en el rango de funcionamiento (horas)	Porcentaje en el rango de buen funcionamiento (%)
1	8,133275298	7335	83,73287671
2	7,897138182	7228	82,51141553
3	7,428011188	7069,833333	80,70585997
4	7,611110477	7187	82,043379

5	7,648355977	7270	82,99086758
6	7,258702477	6878,333333	78,51978691
7	7,67318853	7132,5	81,42123288
8	8,560072497	7393,5	84,40068493
9	8,076039883	7336,666667	83,75190259
10	8,284724284	7375,833333	84,19901065
11	8,26077368	7389,833333	84,35882801
12	8,431125128	7397,166667	84,44254186
13	8,683053621	7509,333333	85,72298326
14	8,118944324	7282,5	83,13356164
15	8,264250105	7443,666667	84,97336377
16	8,477651558	7343	83,82420091
17	8,661487232	7415,666667	84,65372907
18	9,265014081	7526,5	85,91894977
19	8,70985748	7520,833333	85,8542618
20	8,633767173	7441,833333	84,95243531
21	8,801712524	7435,666667	84,88203957
22	8,001062716	7202,333333	82,21841705
23	8,266029227	7220,5	82,42579909
24	8,149440575	7204,166667	82,23934551
25	8,495584542	7323,333333	83,59969559
26	8,524543327	7311,666667	83,46651446
27	7,861240819	6957,666667	79,42541857
28	8,846833733	7428,166667	84,79642314
29	8,327186323	7248,333333	82,7435312
30	7,839596415	7019,833333	80,13508371
31	7,589922746	6938,333333	79,20471842
32	7,9848708	7074	80,75342466
33	8,087793508	7280,166667	83,10692542
<b>TOTAL</b>	<b>8,207647286</b>	<b>7276,39899</b>	<b>83,06391541</b>

Si realizamos un análisis que vaya de lo general a lo particular de los datos obtenidos podemos empezar comparando los valores totales de todos los parques en el año 2011.

El parque de Castilfrío posee la velocidad media más alta de todos los parques con un 8,399 m/s, seguido de El Cayo con 8,208 m/s. El parque que menor velocidad media tiene es el de Magaña con 6,176 m/s.

El parque de Castilfrío también es el que más horas posee en el rango de funcionamiento en lo que a la velocidad del viento se refiere, con 7524,727 horas. El Cayo es el segundo con 7276,399, Oncala con 6985,520 y Magaña con 5888,288 horas.

El porcentaje de tiempo en el que el parque de Castilfrío pudo estar en funcionamiento en el 2011 es de un 85,899 %. Es un porcentaje bastante alto si lo comparamos con otros parques. Magaña posee un porcentaje de un 67,218 %.

A la hora de realizar estudios de fiabilidad o de mantenimiento estos datos son de gran importancia ya que nos dan una idea del tiempo en el que los parques están en funcionamiento y la posibilidad de programar paradas para perder la menor producción posible. Las horas de funcionamiento de cada máquina también afectarán al análisis de fiabilidad ya que aumentarán el número de fallos a medida que aumenten las horas de funcionamiento.

El mayor porcentaje de tiempo en posible funcionamiento debido a las buenas condiciones del viento lo encontramos en la máquina 17 de Castilfrío con un 89,071 % y peor porcentaje se encuentra en la máquina 13 del parque de Magaña con un 56,334 %.

La producción del año 2005 al año 2013 aparece representada en la figura 6.3. En el año 2011 vemos que el orden de producción, respecto al porcentaje en el rango de velocidades de funcionamiento solo se cumple para Castilfrío y El Cayo. En este caso, también tenemos que tener en cuenta las características técnicas y la curva de potencia de cada tipo de aerogenerador.

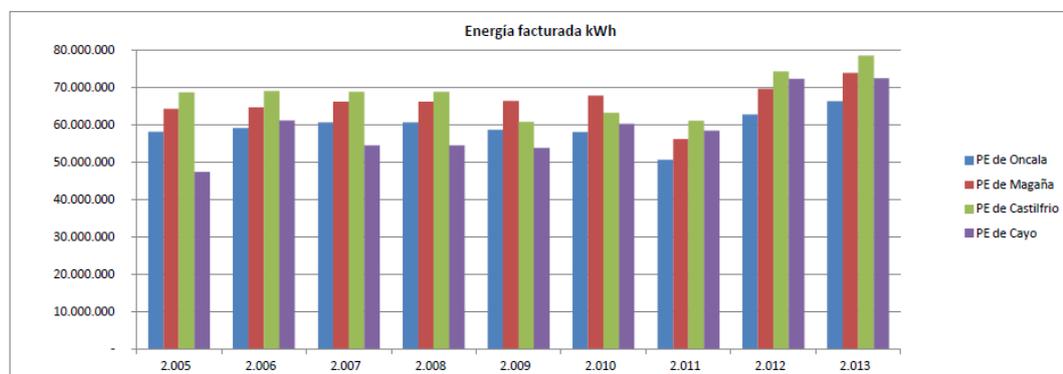


Figura 6.3. Gráfico de la energía facturada por años. Fuente: CETASA

Comparando la energía facturada en los diferentes años vemos que el año estudiado no fue un buen año en cuanto a energía facturada. Esto nos puede dar una ligera idea de que el funcionamiento en ese año ha sido menor que en los demás años por lo que posiblemente el número de errores del 2011 sea menor que en otros periodos de tiempo.

Podemos observar también que en el resto de años el orden de los parques, en cuanto a energía facturada, difiere del año 2011 ya que en segunda

posición se encuentra el parque eólico Magaña, a excepción del año 2009 y 2010 que se encuentra en primera posición.

El orden de los parques eólicos en energía facturada no coincide con el orden de velocidad media de cada parque representado en la figura 6.4. La obtención de energía no solo depende de la velocidad del viento sino también de otros factores como puede ser la situación orográfica, la distribución de los aerogeneradores sobre el terreno, respecto a la dirección del viento y la disponibilidad de los aerogeneradores. En el caso del parque eólico El Cayo, debido a su orográfica y para evitar paradas por sobrevelocidad, se disminuyó la altura de los aerogeneradores lo que hizo que disminuyese la potencia. El mantenimiento juega un papel muy importante en estas comparaciones ya

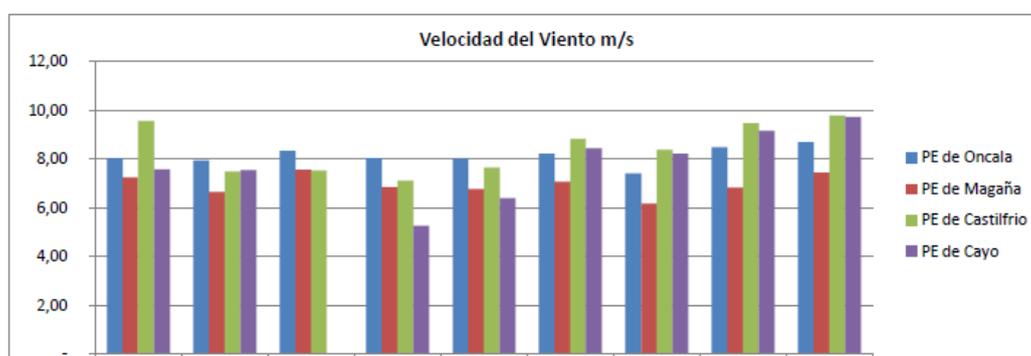


Figura 6.4. Velocidad media del viento por años. Fuente: CETASA

que un buen mantenimiento repercutirá en una mejora de la disponibilidad de los aerogeneradores y esto a su vez en una mayor producción de energía. En el capítulo 8 estudiaremos la disponibilidad de los cuatro parques en el periodo de 2011.



# 7. ESTUDIO DE FIABILIDAD

---

## 7.1. PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Antes de empezar el estudio de fiabilidad tenemos que realizar una preparación de los datos. Partimos de un histórico de fallos de cada parque en el que hemos realizado una subdivisión de los fallos por grupos, que se muestran en el capítulo 4.

Existen ciertos tipos de errores que no vamos a tener en cuenta a la hora de realizar el análisis de fiabilidad. Los errores a no tener en cuenta en el estudio de fiabilidad están contemplados en otro documento proporcionado por *CETASA*.

En el caso de los parques eólicos Oncala y Magaña, los fallos que no computan para el estudio de la fiabilidad no les hemos considerado a la hora de realizar la división de subgrupos.

Vamos a centrarnos en el estudio de fiabilidad del año 2011 para todos los parques.

El número de fallos es muy elevado para cada parque eólico, y haciendo referencia a la teoría, si el número de datos registrados es mayor que 50 debemos reagruparlos por clases. En nuestro caso, vamos a realizar el estudio por grupos ya que sería muy complicado saber a qué clase pertenece cada fallo.

Para el estudio de la fiabilidad necesitamos calcular los tiempos de buen funcionamiento de cada grupo para cada aerogenerador.

Para calcular los tiempos de buen funcionamiento tenemos que restar el tiempo transcurrido entre la finalización de un fallo y el comienzo del siguiente error de cada grupo de errores.

El resultado de este cálculo será una tabla para cada aerogenerador en la que aparecerán los tiempos de buen funcionamiento entre un fallo y el inmediatamente posterior de cada grupo.

Estos datos serán los que posteriormente introduciremos en el programa *Statgraphics* para sacar la función de distribución que rige dichos tiempos.

## 7.2. AJUSTE GRÁFICO, DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS

Para decidir si nuestros datos de tiempos de buen funcionamiento se comportan de acuerdo a algún modelo estadístico conocido se utilizará el programa informático **STATGRAPHICS**.

Las variables que van a ser analizadas son los tiempos de buen funcionamiento de cada grupo. Es decir, se va a partir de una muestra de tiempos  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Estos tiempos se comportan (distribuyen) de acuerdo a alguna función de distribución de probabilidad que llamamos  $F(x)$ . La función de densidad asociada a  $F(x)$  es  $f(x)$ , como ya hemos definido en el apartado 3.7.1. Podremos conocer de forma precisa cuál es la tasa de fallos y la función de supervivencia en cualquier momento.

Se pueden diferenciar esencialmente tres tipos de tasas de fallos:

- Tasa de fallos **constante**: La probabilidad de fallo instantáneo es siempre la misma. No hay desgaste y no hay defectos ocultos en el componente.
- Tasa de fallos **creciente**: Conforme pasa el tiempo aumenta la probabilidad de fallo. Si hay desgaste del componente.
- Tasa de fallos **decreciente**: La probabilidad de fallo al principio es alta y va disminuyendo conforme pasa el tiempo. Hay defectos ocultos del componente que salen a la luz en el inicio del uso.

El programa *Statgraphics* no proporciona la tasa de fallo, sino la Tasa de Fallo Acumulada. La tasa de fallos acumulada es la integral de la tasa de fallos, (15).

Por lo tanto se tiene que la tasa de fallos acumulada será:

- Una recta de pendiente positiva si  $h(t)$  es constante
- Una curva creciente y convexa si  $h(t)$  es creciente
- Una curva creciente y cóncava si  $h(t)$  es decreciente
- Creciente y cóncava más recta de pendiente positiva más creciente y convexa si  $h(t)$  es una curva de bañera. [23]

Existen numerosos modelos probabilísticos que se emplean para modelizar tiempos de duración de componentes. Entre ellos se podrían destacar los siguientes, ya nombrados y explicados en el apartado 3.7.3:

1. **Modelo Exponencial:** Depende de un solo parámetro:  $\theta$ . Se caracteriza por tener una tasa de fallo constante (igual a  $\theta$ ). [23]
2. **Modelo Weibull:** Depende de dos parámetros:  $\lambda$  (escala o *scale*) y  $\beta$  (forma o *shape*). Dependiendo del valor del parámetro de forma el modelo puede tener tasa de fallo decreciente ( $\beta < 1$ ), constante (se reduce al modelo exponencial,  $\beta = 1$ ) y creciente ( $\beta > 1$ ). [23]
3. **Modelo Gamma:** Depende de dos parámetros:  $\beta$  (escala o *scale*) y  $\alpha$  (forma o *shape*). Puede modelizar variables con tasas de fallo cambiantes (crecientes y decrecientes). [23]
4. **Modelo Lognormal:** Depende de dos parámetros:  $\mu$  (media o *mean*) y  $\sigma$  (desviación típica o *standard deviation*). Puede modelizar variables con tasas de fallo cambiantes (crecientes y decrecientes). [23]

Una vez citados y descritos los distintos modelos estadísticos con los que vamos a trabajar, realizaremos un primer análisis de la variable a estudiar. Para ello, vamos a hacer uso de técnicas descriptivas, es decir, se empleará el histograma para ver cómo se distribuye la muestra por intervalos y se realizan estimaciones de la función densidad para obtener algo semejante al histograma pero de forma suave y continua (no por intervalos).

En cuanto a las herramientas para determinar si un modelo es adecuado a una muestra se pueden clasificar en procedimientos gráficos y numéricos.

Gráficamente se puede comprobar si la función de densidad del modelo propuesto es aproximadamente igual que el histograma de los datos. Aunque

es mucho más fiable el gráfico cuantil-cuantil o cuantil-quantil plot (QQ-plot) que consiste en hacer un gráfico de dispersión entre los valores de la muestra ordenados y los cuantiles del modelo propuesto. El modelo podrá ser adecuado si los puntos del gráfico están alineados.

Si tenemos una muestra de tiempos, lo que hace el gráfico de cuantil-cuantil es hacer el diagrama de dispersión de los datos de la muestra frente a la inversa de la función distribución del modelo evaluado en los siguientes puntos:  $1/5$ ,  $2/5$ ,  $3/5$ ,  $4/5$  y  $1$ .

Los procedimientos numéricos consisten en realizar contrastes de hipótesis sobre los datos. Por tanto, atenderemos al  $p$ -valor de los mismos para determinar si existe la posibilidad de que la muestra se comporte según un determinado modelo o no. Como en todo contraste de hipótesis si se obtienen  $p$ -valores bajos existe evidencia en los datos a favor de una hipótesis alternativa (evidencias que indican que los datos no tienen esa función de densidad).

En lo que se refiere al ajuste, los test paramétricos verifican que una ley de probabilidad es aplicable a una muestra, con un riesgo  $\alpha$ . Estos test implican desarrollos matemáticos, los principales son:

- Test de  $\chi^2$  de Pearson, o de Kolmogorov – Smirnov.
- Test de Lilliefors (ley Normal).
- Test de Bartlett (ley Exponencial).
- Test de Mann (ley de Weibull).

En *Statgraphics*, el resultado del test Chi-cuadrado puede ser diferente según la versión instalada del programa. Por tanto, utilizaremos el test de Kolmogorov para realizar estos contrastes.

### 7.2.1. PROCEDIMIENTO

Lo primero que hay que hacer es cargar la hoja de *Excel* donde tenemos los tiempos de buen funcionamiento para cada grupo de un aerogenerador determinado. Para ello se va a:

*Archivo/Abrir/Abrir datos/Archivo de Datos externos*

Una vez que tenemos los datos en el Libro de datos del programa, vamos a comenzar con el análisis de los datos:

### *Describir/Ajuste de distribuciones/Ajuste de datos no censurados*

En *Dato* introducimos el nombre de la variable que queremos analizar, en nuestro caso el nombre del grupo.

Por defecto el programa *Statgraphics* compara con la distribución normal, para la que estima los parámetros correspondientes. En el cuadro emergente de *Opciones Ajuste de distribuciones* seleccionamos las distribuciones con las que queremos que nos contraste los datos.

En el cuadro emergente de *Tablas y Gráficos*, también por defecto, el programa proporciona un resumen del análisis, pruebas de bondad de ajuste y los gráficos de la estimación de la función de densidad y el histograma, a estos hay que añadir el gráfico cuantil-cuantil.

Con las tablas y los gráficos obtenidos debemos determinar el(los) modelo(s) más adecuados para cada variable.

El resumen del análisis nos indica los siguientes datos:

- Número de valores y el rango en el que están comprendidos
- Nos informa el tipo de distribución que se les ha ajustado
- Los parámetros característicos de cada distribución ajustada

En las pruebas de bondad de ajuste encontramos entre otros datos el valor-p según el ajuste de Kolmogorov - Smirnov, que es el que habíamos seleccionado.

En el gráfico del histograma nos aparecen los datos agrupados por tramos. Se observa también una curva superpuesta a éste. Esa curva es la función de densidad correspondiente a la distribución seleccionada con los parámetros que aparecen en el resumen del análisis.

El gráfico de la función de densidad estimada se interpreta como un histograma pero tiene la ventaja de tener un comportamiento suave y continuo.

Para que se vea mejor la distribución de los datos hay que cambiar el parámetro *Ancho del Intervalo* (por defecto del 60%) que se encuentra en *Opciones de Ventana*. Sustituimos el valor del 60% por el 10%.

El gráfico cuantil-cuantil muestra la adecuación de los datos a cada distribución. Los puntos deben estar alineados sobre la recta  $y=x$ .

Vamos a realizar este procedimiento con todos los grupos de cada aerogenerador. Los resultados obtenidos estarán resumidos en una tabla para cada aerogenerador en el Anexo C.

Vamos a calcular el valor de la **supervivencia** en un tiempo dado. Para ello realizamos los siguientes pasos:

#### *Describir/Ajuste de distribuciones/Ajuste de datos no censurados*

Elegimos el grupo que queremos estudiar y lo metemos en *Datos*. En la siguiente ventana introducimos la distribución a la que se ajusta el conjunto de datos que habremos obtenido en el paso anterior.

En la ventana de *Tablas y Gráficos* añadiremos las tablas de *Áreas de Cola* y *Valores Críticos*.

La opción de *Áreas de Cola* da como resultado el valor de la función de distribución y la supervivencia en un determinado punto. Así pues si se desea conocer la supervivencia de una variable según un determinado modelo para el instante  $t$ , es decir,  $S(t)$ , debemos obtener la función de distribución en dicho valor, ya que  $S(t)=1-F(t)$ .

Para hacer esto hay que situar el cursor encima del panel de *Áreas de Cola*, presionar el botón derecho y elegir la opción *Opciones de ventana*. Aparecerá una ventana con cinco casillas. En cada casilla se puede introducir un tiempo de interés.

El programa proporciona un *Área de Cola Inferior* ( $<$ ), es decir, probabilidad de que el tiempo de vida de la componente estudiada sea menor que un tiempo  $t$  (esto es  $P(T<t)=1-S(t)$ ).

El programa también proporciona un *Área de Cola Superior* ( $>$ ), es decir, nos da directamente el dato de la supervivencia para el modelo estudiado en el instante  $t$ .

En cuanto a los valores críticos, la forma de obtenerlos es análoga. En este caso nos daría el valor de la variable  $t$  para la que la supervivencia vale  $X$ . Se pide el tiempo de fallo para el que  $S(t)=X$ , es decir, para que  $1-F(t)=X$ , o lo que es lo mismo, para que  $F(t)=1-X$ .

En el programa debemos introducir el valor del *Área de Cola Inferior* (<) por lo que para saber el valor de la variable para el que la supervivencia es X habrá que introducir el valor de la función distribución, 1-X. Para ello ponemos el cursor en la ventana de *Valores Críticos*, presionamos el botón derecho y elegimos *Opciones de Ventana*. Podemos introducir cinco valores distintos de Áreas de Cola. El resultado que nos proporciona el programa es t, siendo  $F^{-1}(1-X)=t$ .

## 7.2.2. EJEMPLOS DE LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE FIABILIDAD

A continuación vamos a mostrar algunos de los ejemplos de los análisis realizados:

### Ejemplo 1:

Parque: Parque eólico de Castilfrío

Nº de máquina: Aerogenerador 9

Grupo del análisis: Paso

Introducimos la hoja de los tiempos de buen funcionamiento del aerogenerador número 9 del parque de Castilfrío, figura 7.1.

	C. Hidraulica	Convertidor	Vibraciones	Generador	Hardware	Multiplicador	Congelación Aceite	Orientación	Rotor	Paso	Red
1	1850,110278	0,002777778	9,648888889	0,095833333	123,3052778	271,4797222		1023,846667		1774,9655	
2	117,4694444	296,0283333	0,836111111	0,055833333	1363,6175	119,4888889		18,495		48,441111	
3	2562,478611	1343,74	0,872222222	0,05	0,196944444	305,8194444		2197,608056		1,47138888	
4	0,6075	167,8336111	14,88416667	0,047222222	0,011388889	2,905555556		2089,139167		0,01111111	
5	1923,174167	2518,478611	1,755	0,054166667	769,5441667	1550,629722				0,46333333	
6	0,043333333	23,86833333	1,350833333	0,349444444	52,14277778	0,677222222				0,00194444	
7	0,100277778	2,217222222	316,8872222	0,231666667	2297,187222	0,704444444				11,4702777	
8	97,55083333	0	614,0338889	2997,026111		1,587222222				0,3452777	
9	0,156944444	0,002777778	0,390277778	1164,580833		0,277777778				101,73194	
10	251,5705556	2564,081389	1,169444444			461,0802778				70,080555	
11			1,070833333							2,3194444	
12			131,5338889							790,73388	
13			3,518055556							520,08027	
14			6,936944444							196,62888	
15			2,449722222							0,0513888	
16			525,3933333							25,930555	
17			2,970833333							43,385833	
18			896,0719444							58,620833	
19			0,825							8,1238888	
20			259,4372222							11,631111	
21			74,605							0,0513888	
22			334,7980556							35,452222	
23			0,723611111							98,216666	
24			222,1591667							48,867222	
25			252,4005556							2591,8780	
26			341,5158333							97,624166	
27			227,5458333								
28			203,4633333								
29			596,7411111								
30			12,0880556								

Figura 7.1. Programa Statgraphics.

Una vez que tenemos todos los datos seleccionamos en la barra de herramientas: Describir/ Ajuste de distribuciones/Ajuste de datos no censurados.

En el apartado de *Dato* de la ventana emergente introducimos la columna correspondiente a los datos del Paso, figura 7.2.

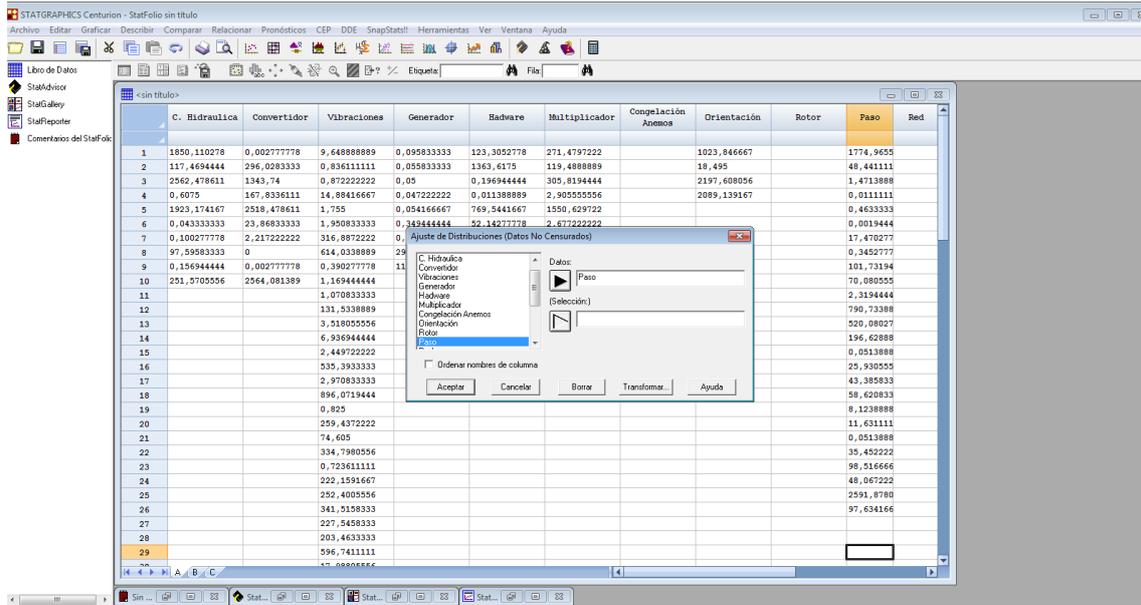


Figura 7.2. Programa Statgraphics.

El siguiente paso será seleccionar las distribuciones a las que pueden ajustarse los datos escogidos. Por defecto aparece seleccionada la distribución normal, figura 7.3.

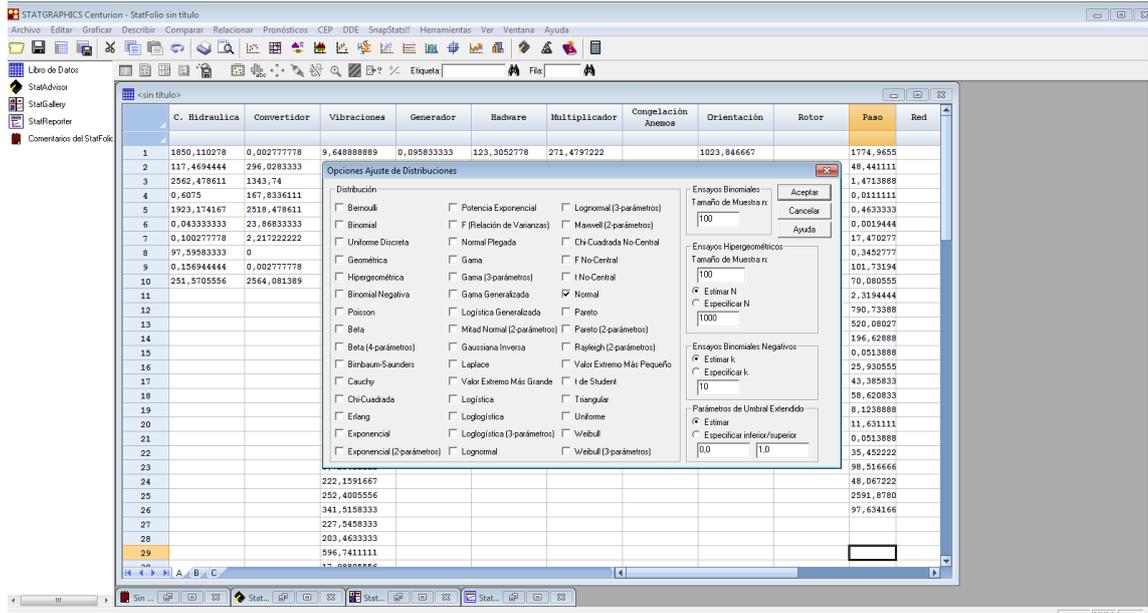


Figura 7.3. Programa Statgraphics.

Vamos a seleccionar las distribuciones vistas en el capítulo 3: Exponencial, Gamma, Lognormal, Weibull, y Weibull(3-parámetros).

El siguiente paso será seleccionar al gráfico cuantil-cuantil ya que los demás gráficos y tablas necesarias para el análisis ya aparecen seleccionados por defecto, figura 7.4.

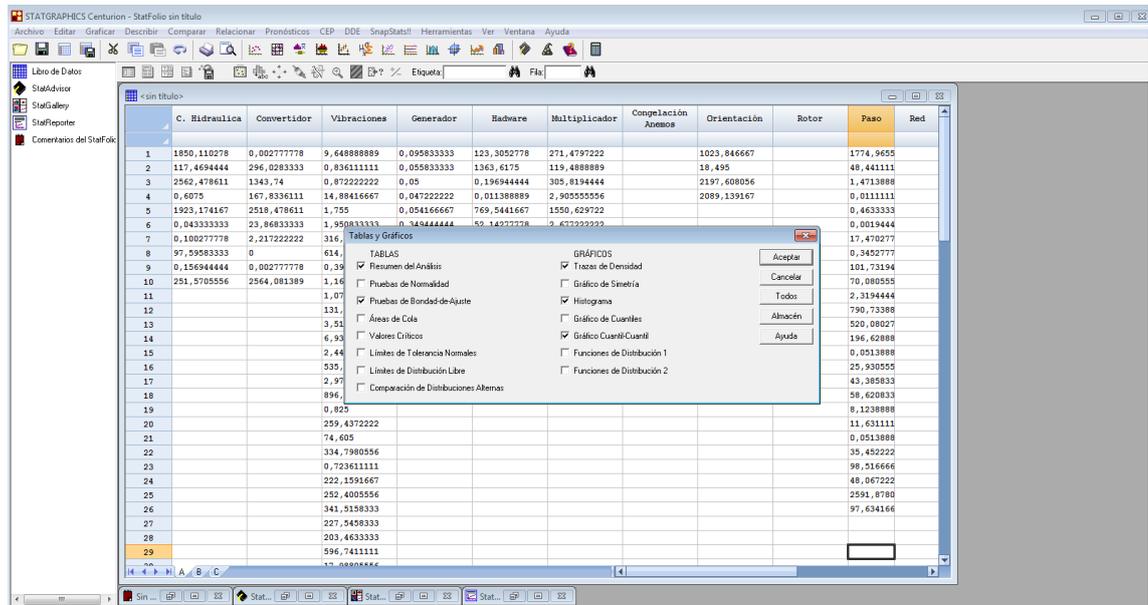


Figura 7.4. Programa Statgraphics.

En las figuras 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 y 7.9 se encuentran los gráficos cuantil-cuantil que aparecen en el programa para las distintas distribuciones elegidas.

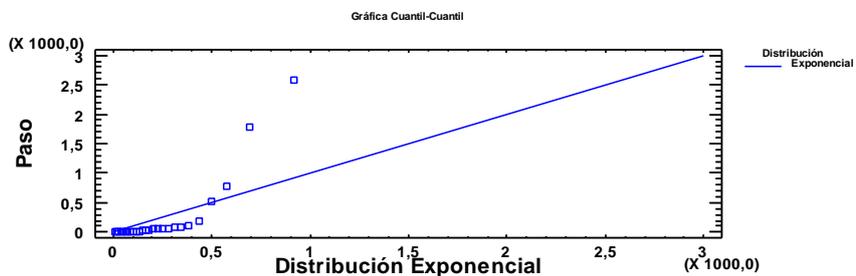


Figura 7.5. Ajuste distribución Exponencial del grupo Paso de Castilfrío 9.

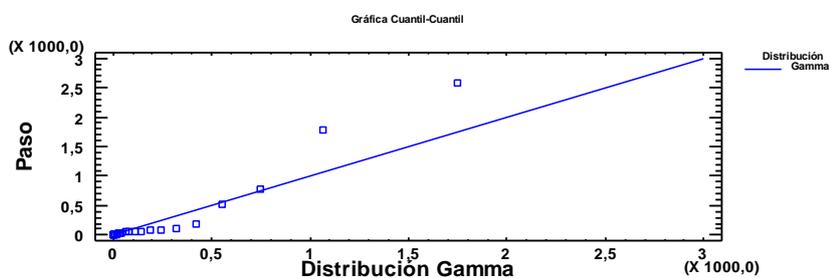


Figura 7.6. Ajuste distribución Gamma del grupo Paso de Castilfrío 9.

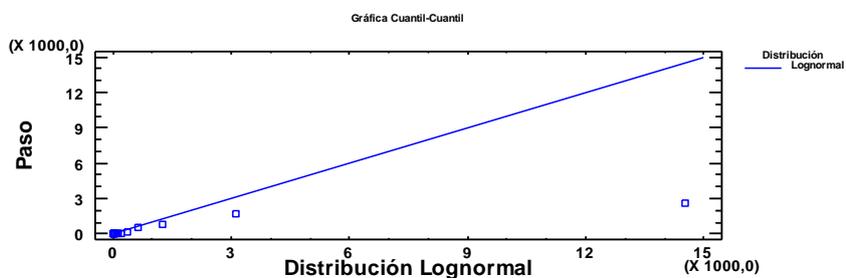


Figura 7.7. Ajuste distribución Lognormal del grupo Paso de Castilfrío 9.

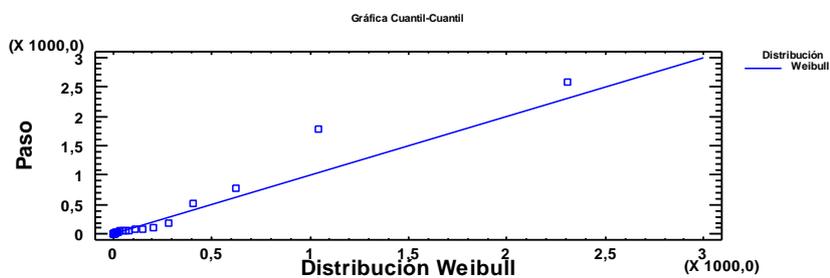


Figura 7.8. Ajuste distribución Weibull del grupo Paso de Castilfrío 9.

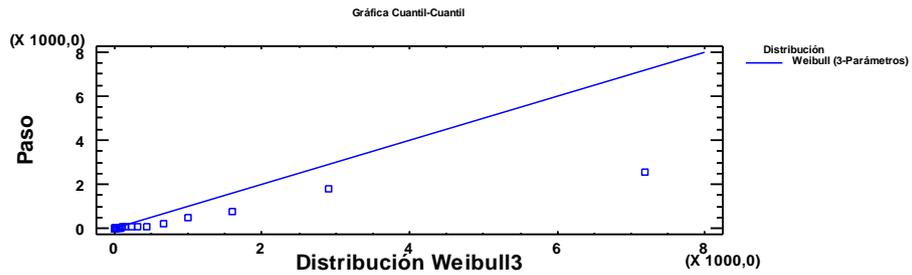


Figura 7.9. Ajuste distribución Weibull (3 parámetros) del grupo Paso de Castilfrío 9.

Tabla 7.1. Parámetros característicos de las distribuciones para el grupo Paso de Castilfrío 9.

Distribución	Parámetros Estimados	Valor-p Kolmogorov
Exponencial	media = 251,696	0,0000158898
Gamma	forma = 0,234421 escala = 0,000931366	0,330843
Lognormal	media = 9525,65 desviación estándar = 7,69998E6 Escala log: media = 2,46676 Escala log: desv. est. = 3,65923	0,51298
Weibull	forma = 0,356683 escala = 61,0689	0,916922
Weibull (3-parámetros)	forma = 0,313287 escala = 114,956 umbral inferior = 0,00194444	0,30869

La tabla 7.1 recoge los parámetros característicos de cada distribución.

Gráficamente se observan bastantes diferencias entre los cinco gráficos. Se observa un mejor comportamiento en el correspondiente a la distribución de Weibull, figura 7.8.

La distribución exponencial la podemos descartar gráficamente y numéricamente ya que el valor-p es inferior a 0,05 por lo que se puede rechazar la idea de que el grupo de Paso del aerogenerador proviene de una distribución exponencial con 95% de confianza.

Las demás distribuciones, excepto la de Weibull, no las podemos rechazar numéricamente pero gráficamente sí que podemos observar que no se ajustan a la línea  $y=x$ .

De la distribución de Weibull, podemos observar en el gráfico de la figura 7.8 que sigue bastante bien la línea  $y=x$  aunque los puntos de mayor valor están sensiblemente alejados de dicha recta.

En cuanto a la tabla que contiene las estimaciones de los parámetros y los p-valores se observa que el modelo que mejor se ajusta es el modelo de Weibull.

En este caso podemos afirmar que los datos del grupo de Paso del aerogenerador se ajustan a una distribución de Weibull con un parámetro de forma de 0,356683 y 61,0689 de escala.

El parámetros de forma  $\beta$  es menos que 0, por lo que la tasa de fallos  $h(t)$  decrece. Esto nos indica que el grupo *Paso* estaría en un periodo de juventud.

Para el caso del estudio de la supervivencia tenemos que escoger solo la distribución de Weibull, ya que es la seleccionada en lo descrito anteriormente. Una vez seleccionada la distribución a la que se ajustan los datos en la ventana de Tabla y Gráficos tenemos que seleccionar las tablas de *Áreas de Cola* y *Valores Críticos*, figura 7.10.

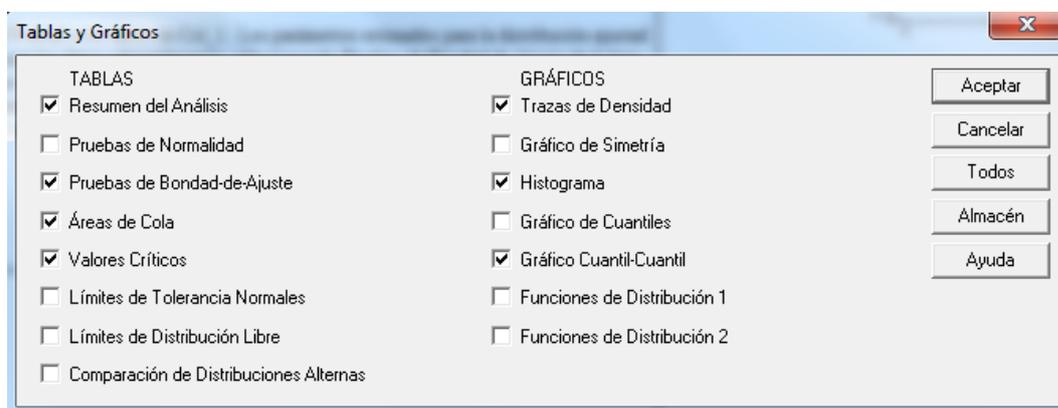


Figura 7.10. Tablas y Gráficos.

Para introducir valores en el *Área de cola* presionamos botón derecho y *Opciones de Ventana* y aparece la ventana emergente de la figura 7.11.

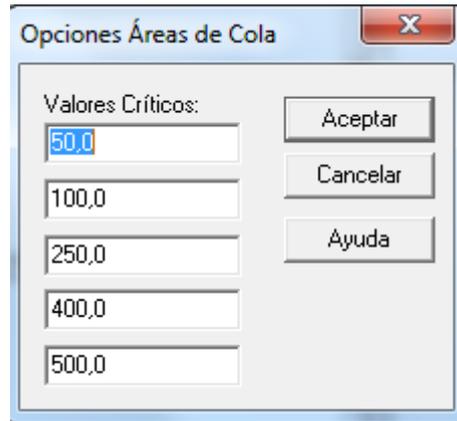


Figura 7.11. Opciones Áreas de Cola.

En esta ventana introducimos los valores que queremos estudiar. Para este ejemplo hemos introducido los valores de 50, 100, 250, 400 y 500.

El programa nos muestra la tabla 7.2 en la que nos indica los valores de  $F(X)$  (Área Cola Inferior) y  $S(X)$  (Área Cola Superior) para el valor  $X$  introducido. En nuestro caso, el valor  $X$  son las horas de trabajo de las máquinas.

Tabla 7.2. Áreas de Cola para el grupo Paso de Castilfrío 9.

$X$	Área Cola Inferior ( $<$ )	Área Cola Superior ( $>$ )
50,0	0,605902	0,394098
100,0	0,696485	0,303515
250,0	0,808569	0,191431
400,0	0,858431	0,141569
500,0	0,879599	0,120401

Para los valores críticos realizamos la misma operación: colocamos el cursor, presionamos botón derecho y seleccionamos *Opciones de Ventana*. Aparecerá la ventana emergente de la figura 7.12.

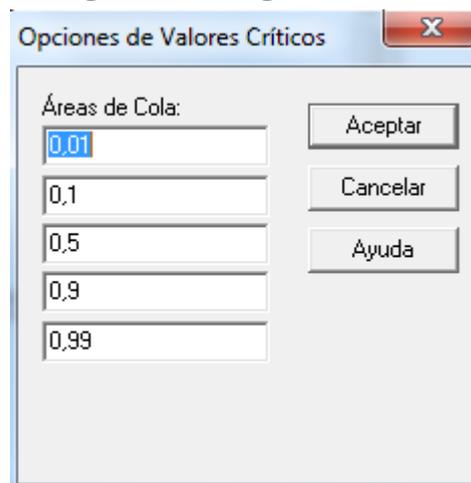


Figura 7.12. Opciones de Valores Críticos.

En esta ventana introducimos los valores que queramos. En este caso, hemos dejado los valores que vienen predeterminados por el programa.

La respuesta a estos valores se indica en la tabla 7.3. La segunda columna nos indica el tiempo en horas para un Área de Cola Inferior especificado.

Tabla 7.3. Valores críticos para el grupo Paso de Castilfrío 9.

Área Cola Inferior ( $\leq$ )	Weibull
0,01	0,000153008
0,1	0,11112
0,5	21,8553
0,9	632,894
0,99	4418,77

Vemos, por ejemplo, que para una función de distribución de 0,99 (supervivencia de 0,01) el valor del tiempo es de 4418,77.

### Ejemplo 2:

Parque: Parque eólico de El Cayo

Nº de máquina: Aerogenerador 12

Grupo del análisis: Hardware

Introducimos en el *Libro de Datos* del programa *Statgraphics* los tiempos de buen funcionamiento del aerogenerador número 12 del parque de Castilfrío.

La columna de datos que vamos a estudiar es la columna de *Hardware*.

Analizamos las diferentes distribuciones que pueden ajustarse a los datos de buen funcionamiento que estamos estudiando.

Los gráficos cuantil-cuantil que obtenemos de las distintas distribuciones se representan en las figuras 7.13, 7.14, 7.15, 7.16 y 7.17.

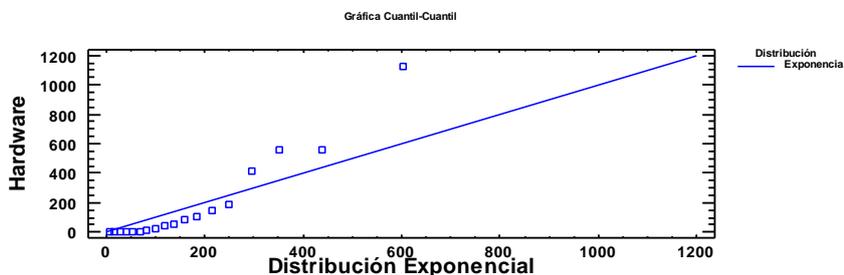


Figura 7.13. Distribución Exponencial del grupo Hardware de El Cayo 12.

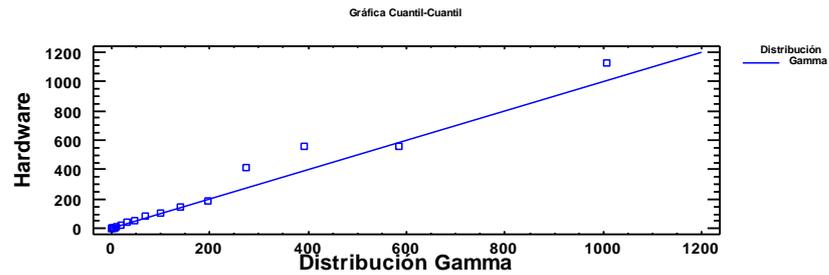


Figura 7.14. Distribución Gamma del grupo Hardware de El Cayo 12.

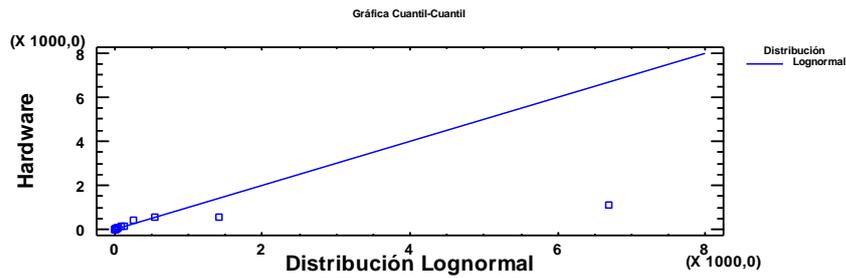


Figura 7.15. Distribución Lognormal del grupo Hardware de El Cayo 12.

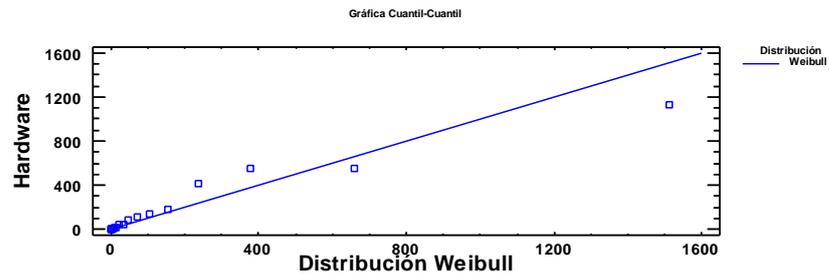


Figura 7.16. Distribución Weibull del grupo Hardware de El Cayo 12.

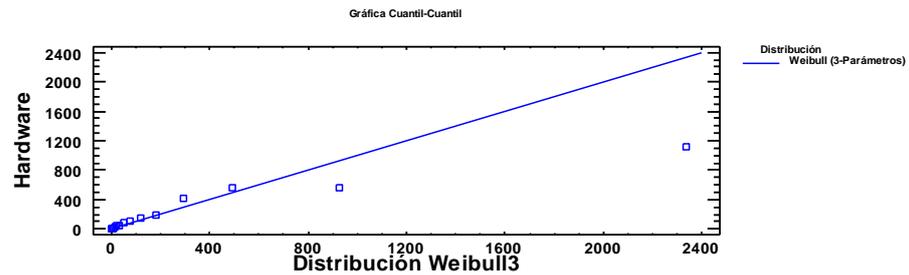


Figura 7.17. Distribución Weibull (3-parámetros) del grupo Hardware de El Cayo 12.

Haciendo únicamente caso de los gráficos de cuantil-cuantil se observan bastantes diferencias entre los cinco gráficos. Podemos descartar gráficamente la distribución exponencial y Lognormal. Entre los gráficos de la

distribución Weibull y Weibull (3-parámetros) existe una pequeña diferencia en los datos de mayor valor. Pero podemos ver que la distribución de Weibull se ajusta mejor ya que estos últimos datos están más cercanos a la recta  $y=x$  en esta distribución que en la distribución de Weibull (3-parámetros). Por este razonamiento descartaríamos la distribución de Weibull (3-parámetros).

Comparando las dos distribuciones que nos quedan, Gamma y Weibull, observamos que en la distribución Gamma los datos están más cercanos a la recta  $y=x$  que en la distribución Weibull. Por este motivo, gráficamente escogeríamos la distribución Gamma.

En la tabla 7.4, se muestra un resumen de los parámetros de cada distribución y de los p-valores asociados a cada distribución.

**Tabla 7.4.** Parámetros característicos de las distribuciones para el grupo Hardware de El Cayo 12.

Distribución	Parámetros Estimados	Valor-p Kolmogorov
Exponencial	media = 183,52	0,0314712
Gamma	forma = 0,275028 escala = 0,00149863	0,804675
Lognormal	media = 5363,28 desviación estándar = 1,99337E6 Escala log: media = 2,66932 Escala log: desv. est. = 3,44035	0,556618
Weibull	forma = 0,386647 escala = 69,2716	0,740524
Weibull (3-parámetros)	forma = 0,345802 escala = 74,3629 umbral inferior = 0,0666667	0,759891

En la tabla podemos comprobar lo que previamente habíamos observado gráficamente. El p-valor de la distribución Gamma es mayor que el p-valor de la distribución de Weibull. Por lo que definitivamente nos quedaríamos con el modelo de Gamma con un parámetro de forma de 0,275028 y un parámetro de escala de 0,00149863.

En el caso que el p-valor del modelo de Gamma no fuese mayor que el de Weibull deberíamos estudiar la situación. Lo primero que tenemos que tener en cuenta es el número de tiempos que tenemos para realizar el estudio. Si el

número de datos es inferior a 30 deberemos tomar una decisión basándonos en los gráficos de cuantil-cuantil siempre que el p-valor no sea inferior a 0,05. Para el cálculo de la supervivencia vamos a establecer unos valores que nos interesen. En este caso, vamos a introducir los mismos valores que en el caso anterior y poder comparar a simple vista con el ejemplo 1.

La tabla que obtenemos para las Áreas de Cola es la siguiente, tabla 7.5:

Tabla 7.5. Áreas de Cola para el grupo Hardware de El Cayo 12.

X	Área Cola Inferior (<)	Área Cola Superior (>)
50,0	0,535256	0,464744
100,0	0,637678	0,362322
250,0	0,78488	0,21512
400,0	0,857281	0,142719
500,0	0,888445	0,111555

Podemos ver que la supervivencia para un  $t > 500$  es menor que en el ejemplo 1, un 0,111555 frente a 0,120401 del ejemplo anterior.

La tabla de los valores críticos, tabla 7.6, para este ejemplo es:

Tabla 7.6. Valores críticos para el grupo Hardware de El Cayo 12.

Área Cola Inferior ( $\leq$ )	Gamma
0,01	0,0000244772
0,1	0,105874
0,5	38,5164
0,9	546,365
0,99	1693,96

### Ejemplo 3:

Parque: Parque eólico de Oncala

Nº de máquina: Aerogenerador 24

Grupo del análisis: Control

Introducimos los datos de buen funcionamiento del grupo *Control* para el aerogenerador 24 del parque de Oncala en el programa *Statgraphics*.

Los gráficos de Cuantil- Cuantil para el estudio de obtención de la distribución se representan en las figuras 7.18, 7.19, 7.20, 7.21 y 7.22.

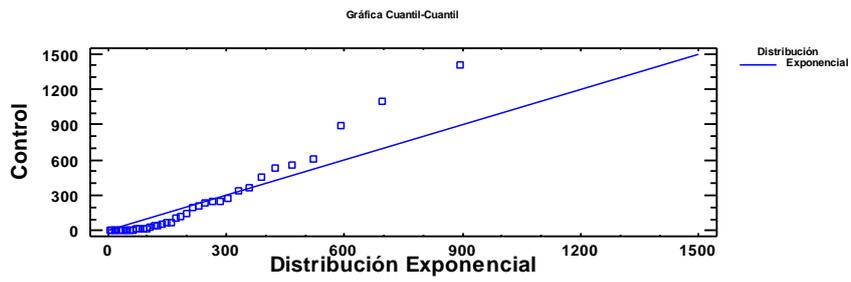


Figura 7.18. Distribución exponencial del grupo Control de Oncala 24.

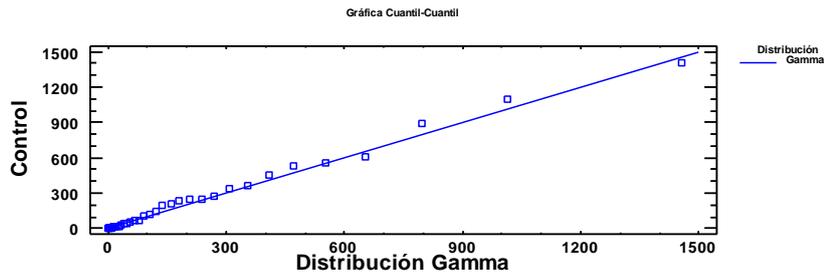


Figura 7.19. Distribución Gamma del grupo Control de Oncala 24.

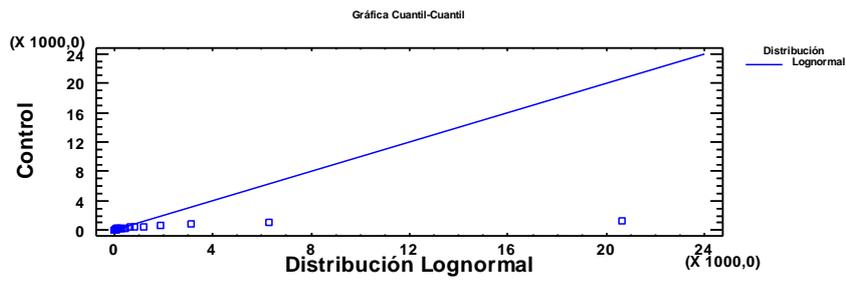


Figura 7.20. Distribución Lognormal del grupo Control de Oncala 24.

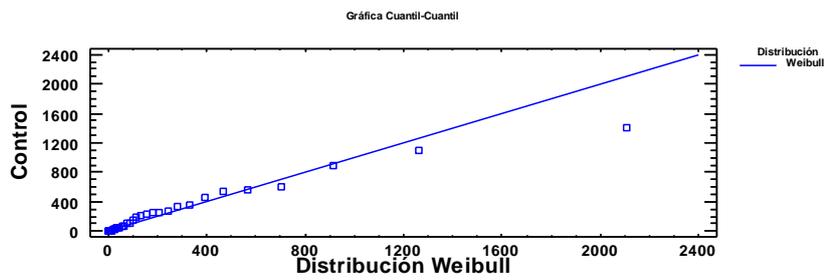


Figura 7.21. Distribución Weibull del grupo Control de Oncala 24.

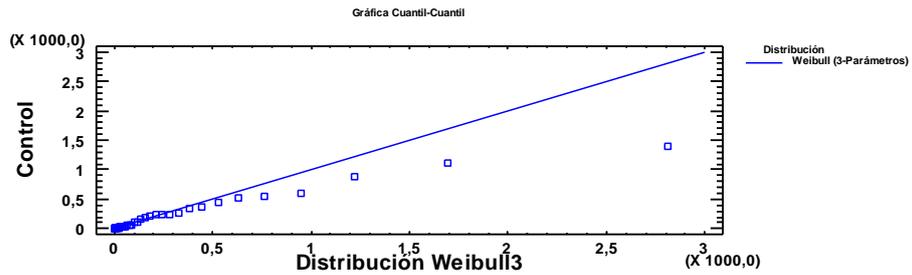


Figura 7.22. Distribución Weibull (3-parámetros) del grupo Control de Oncala 24.

Los parámetros característicos de cada distribución los recogemos en la siguiente tabla 7.7.

Tabla 7.7. Parámetros característicos de las distribuciones para el grupo Control de Oncala 24.

Distribución	Parámetros Estimados	Valor-p Kolmogorov
Exponencial	media = 222,081	0,00808611
Gamma	forma = 0,365735 escala = 0,00164685	0,964262
Lognormal	media = 3472,93 desviación estándar = 337021, Escala log: media = 3,57755 Escala log: desv. est. = 3,02496	0,582065
Weibull	forma = 0,495744 escala = 126,69	0,773984
Weibull (3-parámetros)	forma = 0,498653 escala = 171,856 umbral inferior = 0,000555556	0,971917

Con los datos que tenemos podemos descartar la distribución exponencial ya que el Valor-p es inferior a 0,05. Gráficamente podemos comprobar que la distribución exponencial no se ajusta. Siguiendo con el análisis gráfico vemos que en la gráfica cuantil-cuantil de la distribución Lognormal los datos no siguen la gráfica  $y=x$  por lo que también la descartamos. De las tres gráficas restantes la que más se ajusta es la distribución Gamma seguida de la de Weibull. La de Weibull (3-parámetros) tiene los datos de mayor valor más alejados que en la de Weibull. Si comprobamos el valor-p vemos que el mayor se obtiene para la distribución de Weibull (3-parámetros) seguido de la distribución Gamma, 0,972 frente a 0,964. Sin embargo, gráficamente vemos

que la de Weibull (3-parámetros) se ajusta peor que la de Gamma por lo que nuestra elección será la distribución Gamma.

Para el cálculo de la supervivencia introducimos los mismos valores que en los casos anteriores para poder realizar la comparación.

La tabla de Áreas de Cola es la siguiente, tabla 8:

**Tabla 7.8.** Áreas de Cola para el grupo Control de Oncala 24.

X	Área Cola Inferior (<)	Área Cola Superior (>)
177,665	0,665325	0,334675
199,873	0,688462	0,311538
222,081	0,709246	0,290754
244,289	0,72805	0,27195
266,497	0,74516	0,25484

La tabla 7.9 es la tabla de Valores Críticos.

**Tabla 7.9.** Valores críticos para el grupo Control de Oncala 24.

Área Cola Inferior (<=)	Gamma
0,01	0,00149998
0,1	0,814203
0,5	72,2053
0,9	636,844
0,99	1750,04



# 8. ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD

---

El concepto de disponibilidad es la probabilidad de un sistema de estar en funcionamiento o listo para funcionar en el momento requerido.

Como ya hemos visto en el apartado 3 del capítulo de *teoría del mantenimiento* existen dos ratios (5) y (6), entre otros, para el cálculo de la disponibilidad.

En nuestro caso, en este capítulo vamos a calcular las disponibilidades de los cuatro parques durante el año 2011. Para ellos vamos a usar los documentos de los errores producidos durante este mismo año.

En estos documentos no tenemos la posibilidad de diferenciar entre los tiempos asociados a fallos y averías y los tiempos asociados a revisiones preventivas y predictivas, por lo que estudiaremos la disponibilidad sin diferenciar entre los tipos de paradas.

Vamos a calcular la disponibilidad para cada máquina de los cuatro parques de la siguiente manera:

$$D = \frac{\textit{Tiempo total en condiciones de servicio}}{\textit{Tiempo total del intervalo estudiado}} \quad (33)$$

Para realizar este estudio debemos calcular para cada máquina el tiempo total de parada. Restaremos este tiempo al tiempo total estudiado y obtendremos el tiempo de buen funcionamiento total de cada máquina. Hay

que tener en cuenta que existen errores que producen parada en el aerogenerador pero no computan para la realización de la disponibilidad por lo que tendremos que excluirlos. Con esto, ya habremos calculado el numerador de la ecuación (33).

El denominador para el ratio  $D$  es el tiempo total estudiado, un año completo. A continuación presentaremos una tabla resumen con los resultados de las disponibilidades de cada parque eólico, tabla 8.1.

**Tabla 8.1.** Estudio de la disponibilidad de los aerogeneradores de los cuatro parques eólicos en el año 2011.

Aerogenerador	Disponibilidad (%)			
	Oncala	Magaña	Castilfrio	El Cayo
1	97,7351249	98,4598364	95,6610699	98,1210585
2	96,8452308	96,8060027	95,6944762	97,664577
3	95,0771372	98,6043189	97,0201484	99,1332287
4	95,8581177	98,5175387	96,7771024	99,0687944
5	97,1192827	98,2049848	98,0751903	98,5437912
6	97,3262589	96,0476535	91,9803685	98,5682363
7	96,5937373	95,7049214	94,6690608	97,1462709
8	96,0078767	97,5021975	93,7417396	98,7249968
9	96,8716292	98,092545	96,496829	98,8085173
10	96,5398338	98,3166223	98,4690354	90,4705384
11	96,5393201	97,7097095	94,9772387	97,4062056
12	96,3874588	98,3180429	94,557696	98,2077626
13	96,7038591	97,7818461	95,6923801	98,0996924
14	96,0898497	98,1774575	96,9683378	96,6504059
15	95,1244895	98,2838819	92,736406	96,7647419
16	94,9296391	98,3504408	95,8427543	98,1939688
17	94,9933124	97,5487982	97,15026	89,7885147
18	86,6696696	98,5031202	97,9237982	97,9740772
19	97,1496575	97,3050101	97,241023	98,6765094
20	95,4381215	92,6380042	96,7949835	97,3549816
21	97,0336504	98,3642948	94,9908612	98,42526
22	97,2294584	97,9921867	96,7563737	97,0577499
23	96,7646214	96,6297311	94,6480911	97,989558
24	97,4235065	98,024407	97,8171328	98,2635211
25	93,9053209	97,7141711	98,6640284	95,0136637
26	97,6344939	98,119584	95,5999239	97,5800038
27	96,9973839	96,9082763	96,6937056	98,2694286
28	97,5398656	98,0157122	97,1762525	97,0824677
29	97,5964961	98,4554129	97,6530505	97,4830543
30	97,5920979	98,500612	95,3431348	94,6235699



<b>31</b>	96,4843417	95,9725393	93,8786244	94,8322267
<b>32</b>	97,5415081	97,9779744	97,3702308	96,8148307
<b>33</b>	97,6277397	97,0153729	96,4138667	97,9825406
<b>Total Parque</b>	96,2839422	97,5928245	96,1053083	97,1752953

El parque eólico de magaña es el parque eólico con mayor disponibilidad y el parque eólico Castilfrío presenta la peor disponibilidad.

En el capítulo 6 vimos que el parque eólico Magaña presentaba la menor velocidad media y el menor porcentaje en el rango de velocidades de funcionamiento, sin embargo, fue el tercer parque que más produjo en el año 2011, superando así a Oncala. Uno de los factores clave fue la buena disponibilidad que presenta este parque respecto al resto de parques que tienen mejores datos de velocidad del viento.





# 9. CONCLUSIONES

---

## 9.1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se propone una metodología para el cálculo de fiabilidad de un aerogenerador. Esta metodología será de gran utilidad para la toma de decisiones sobre el tipo de mantenimiento a implantar para la optimización de la vida útil del generador.

La información que podemos extraer del estudio de fiabilidad y disponibilidad permite una mejor asistencia en la toma de decisiones desde una perspectiva del mantenimiento y de la gestión de activos.

El estudio de los tiempos entre fallos consecutivos y tiempos de mantenimiento de dichos fallos junto con la estimación de la distribución estadística a la que se ajusta cada grupo nos permitirá estimar el tiempo que debería transcurrir entre dos paradas para la realización del mantenimiento preventivo optimizando la disponibilidad.

Existen ciertos sistemas que requieren una probabilidad de fallo muy baja mientras se realiza la función requerida, bajo las condiciones exigidas. La razón más común para ello es la seguridad del usuario y del entorno. Algunos de estos fallos críticos pueden ser incendios o fugas. Para evitar que ocurran antes de la realización del mantenimiento preventivo se establecerá un nivel de fiabilidad determinado. Para ello, debemos recurrir a la función de fiabilidad y establecer tiempos de mantenimiento en los que la probabilidad de fallo sea mayor que el nivel de fiabilidad exigido.

Este criterio es antieconómico ya que no todos los sistemas requieren esta condición de funcionamiento por lo que no es un criterio que emplearemos

para establecer el plan de mantenimiento pero sí que podremos tenerlo en cuenta para algunas ocasiones.

Hemos puesto como ejemplo, del desarrollo de la metodología, el estudio de fiabilidad de un año completo (2011) de cuatro parques eólicos. La mayor parte del tiempo se ha empleado en el tratamiento de datos ya que el número de fallos es elevado. Lo ideal para sacar conclusiones que podamos extrapolar a la vida de un aerogenerador sería el estudio de fiabilidad de 4 o 5 años.

Una vez interiorizada la metodología para su realización, el tiempo empleado en realizar el estudio será menor. Sin embargo, debemos tratar los datos y eliminar fallos que se encuentren unos dentro de otros y tomar como un solo fallo aquellos que sean del mismo tipo que se produzcan con tiempo 0 entre ambos. Una de las soluciones para este problema podría ser la utilización de un software especializado en tratamiento de datos que permita agilizar este proceso.

## 9.2. CONCLUSIONES TÉCNICAS

Primeramente, y antes de realizar el estudio de fiabilidad de los aerogeneradores hemos realizado los Diagramas de Pareto de todos los aerogeneradores de los cuatro parques eólicos.

En estos diagramas hemos podido extraer información acerca de los fallos más comunes en cada parque y los fallos que producen mayor indisponibilidad del aerogenerador. En estos diagramas, a parte del número de fallos de cada grupo, también se muestra el porcentaje que representa cada grupo de fallos respecto al total.

De estos diagramas podemos sacar varias conclusiones del año estudiado, pero éstas no podrán ser extrapoladas a los demás años ya que el estudio de un único año es un periodo demasiado corto con respecto a la vida útil de un aerogenerador.

En los parques eólicos de Castilfrío y El Cayo cada aerogenerador presenta un comportamiento diferente en cuanto a porcentaje de aparición del grupo de fallos, pero existen ciertos grupos que son más “frágiles” que el resto. El grupo que presenta mayor porcentaje de fallos en los dos parques es el grupo de *Vibraciones*, para la gran mayoría de aerogeneradores, seguido del grupo *Convertidor y Hardware*.

En estos grupos deberíamos centralizar más el estudio para poder reducir el número de paradas a causa de estos tipos de fallos. Sin embargo, esto no quiere decir que podamos descuidar el mantenimiento de los otros grupos ya

que, aunque con menos probabilidad, también pueden originar paradas a largo plazo.

Por el contrario, los grupos que menor porcentaje de fallos originaron son los grupos *Red*, *Rotor* y *Congelación Anemómetro*.

El grupo *Red* no presenta ningún tipo de fallo en el año 2011 que pueda ser imputable a la disponibilidad del aerogenerador ya que se producen paradas de la máquina por causas externas que no conciernen a la empresa *CETASA*.

El estudio de *Congelación Anemómetros* es complicado y diferente a los demás. Los fallos producidos en este grupo se deben a causas producidas por condiciones climáticas adversas y concentradas en los meses de invierno, con mayor concentración en enero y febrero. En el tiempo estudiado, un año, sí que podremos establecer una distribución estadística pero en un periodo de tiempo más extenso no se ajustaría a ninguna distribución de las estudiadas. Por lo que en este grupo deberíamos tomar medidas diferentes para apaliar las paradas producidas por las bajas temperaturas en los meses de invierno.

Podemos comparar con los *gráficos n-t* de cada aerogenerador la indisponibilidad que produce cada grupo. Hay grupos que tienen una fiabilidad reducida pero producen poca indisponibilidad, ya que la duración de los fallos es muy baja. Sin embargo, hay grupos con un reducido número de fallos pero la indisponibilidad que producen es muy elevada. Por este motivo, el *gráfico n-t* nos será de gran utilidad si lo que estamos buscando es aumentar la disponibilidad.

Los tres grupos que mayor indisponibilidad produjeron en el parque eólico Castilfrío, ordenados de mayor a menor, fueron el grupo *Multiplicadora*, *Convertidor* y *Central hidráulica*. En el parque eólico El Cayo por el contrario son: *Paso*, *Convertidor* y *Generador*.

Por otro lado, los parques de Oncala Y Magaña presentan mayor número de paradas en los grupos de *Diverso*, *Control* y *Red*. Los grupos de menor número de paradas para el parque de Oncala fueron: *Tren de potencia*, *Anemómetro* y *Orientación*; y para el parque de Magaña: *Vibraciones*, *Generador* y *Tren de potencia*.

En Oncala los grupos que más indisponibilidad produjeron fueron: *Diverso*, *Red* y *Central hidráulica*. Y en Magaña: *Diverso*, *Control* y *Central Hidráulica*.

Existe una diferencia clara entre las dos tecnologías de aerogeneradores de los que disponemos en los parques.

En los aerogeneradores *Made* se producen un número mucho más elevado de paradas por fallos que los aerogeneradores *Negmicon* instalados en los parques de Oncala y Magaña. Pero en el año 2011 el parque con mayor indisponibilidad fue el parque eólico Magaña.

Del estudio de fiabilidad tenemos como resultado las tablas incluidas en el Anexo A.

Hemos realizado el estudio de fiabilidad de 132 aerogeneradores, 33 aerogeneradores por cada parque eólico. De estas tablas obtenidas podemos sacar algunas conclusiones:

En el parque eólico Magaña los errores del grupo *Diverso* siguen, por lo general, una distribución exponencial. Que siga una distribución exponencial nos da la información de que la tasa de fallos del grupo *Diverso* es constante. Muchas de las paradas por estos fallos se deben a paradas realizadas por personal de mantenimiento por lo que posiblemente podamos deducir que son paradas establecidas a lo largo del tiempo.

En los parques eólicos Oncala y Magaña, sobre todo en éste último, los errores que se producen están concentrados en ciertos grupos. Lo que a la hora de establecer un plan de mantenimiento, teniendo en cuenta la fiabilidad, nos será más sencillo ya que dependeremos de un menor número de grupos.

Otra de las cosas que podemos extraer del Anexo A es el carácter de la tasa de fallos de cada aerogenerador. Vemos que cada grupo tiene una tasa de fallos diferente pero podemos establecer un carácter general de la tasa de fallos para cada aerogenerador.

Fijándonos en el tipo de distribución y en el parámetro de forma, podemos ver la tendencia de la tasa de fallos. El carácter general de la tasa de fallos es constante o decreciente a lo largo del tiempo (en el año estudiado), a excepción de algunos grupos de algún aerogenerador que presentan un comportamiento creciente.

Cuando la tasa de fallos y el desgaste es constante o decreciente, según nos indica el mantenimiento centrado en la fiabilidad, un mantenimiento preventivo o unas sustituciones preventivas no serán eficaces.

Cuando se realiza un mantenimiento preventivo cuando la tasa de fallos es decreciente puede alterar este estado y aumentar el número de fallos debido a la intervención preventiva.

Por último, destacar que existen ciertos grupos de fallos de ciertos aerogeneradores que no se ajustan a ninguna distribución, una de las razones puede ser que el periodo estudiado no es demasiado corto para adaptar los datos a una distribución estadística. En las tablas del Anexo C aparecerá la frase: “no se ajusta”, para identificar estos grupos.

### 9.3. CONCLUSIONES PERSONALES

A la hora de establecer un plan de mantenimiento adecuado a cada parque entran en juego muchas variables pero el objetivo final siempre será buscar un mantenimiento adecuado que nos reporte el mayor beneficio posible. Una de las variables más importantes es el precio de venta del kW/h.

Actualmente, debido al cambio de las reglas de funcionamiento del mercado de producción de la energía eléctrica en la península ibérica publicadas en el BOE el 9 de agosto del 2013, la estrategia de mantenimiento tendrá que adaptarse buscando el mayor beneficio económico posible. Antes de este cambio, para obtener el mejor resultado económico, lo que se buscaba era la mayor disponibilidad posible de las máquinas para poder producir lo máximo posible ya que el precio del kW no variaba.

Hoy en día, tendremos que tomar decisiones acerca de los tiempos de mantenimiento dependiendo del precio horario de la energía en ese momento. Éste, quizás, sea uno de los factores claves a la hora de la organización de los mantenimientos junto con el análisis de los tiempos que hemos realizado. Hay meses en los que la disponibilidad es mucho mayor que otros pero, sin embargo, el beneficio obtenido es menor.

Otro de los factores clave en la organización del mantenimiento son los recursos humanos de los que se dispone el parque eólico.

En el año estudiado, 2011, se produjo un cambio en la empresa de mantenimiento que se encargaba de los parques eólicos de Castilfrío y El Cayo. Esto hace que la organización, junto con el actitud y aptitud del personal y otros factores puedan agravar el tiempo de mantenimiento y por lo tanto el tiempo de indisponibilidad de los aerogeneradores en estos dos parques.

A la hora de planificar las paradas para realizar el mantenimiento hay que tener muy en cuenta el tipo de tecnología del aerogenerador, por lo que tendremos un plan de mantenimiento para Castilfrío y El Cayo y otro plan de mantenimiento diferente para Oncala y Magaña.

A fin de cuentas, la energía eólica requiere una gran dedicación en cuanto a mantenimiento se refiere y esto repercute en un desembolso importante en este aspecto.

Según la consultora multinacional Bloomberg New Energy Finance (2012) en su informe: "Wind Operations and Maintenance Price Index" revela que el sector de generación eólica global no solo está bajando los costos de fabricación de los aerogeneradores, sino que también se han disminuido los costos de operación y mantenimiento.

Esto quiere decir que la energía eólica es una energía relativamente nueva en ciertos aspectos y que está en continuo desarrollo. En mi opinión, debemos apostar por una energía eólica más eficiente y competitiva respecto a otras formas de obtención de energía no renovables.

#### **9.4. LINEAS DE TRABAJO FUTURAS**

Una vez adquirida la metodología para el desarrollo de la fiabilidad se debería realizar un estudio de fiabilidad que pudiera reportar resultados extrapolables para la vida de un aerogenerador.

Además del estudio de fiabilidad, otras de las líneas de trabajo futuras podrían ser el estudio e implantación de una política de mantenimiento atendiendo a la fiabilidad, al análisis de sus costos y a otros factores influyentes.



# BIBLIOGRAFÍA

- 
- [1] Álvarez, C.; Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. (2006). *Energía eólica*. Madrid.
- [2] Arquitectmodern. (2012). *Generadores eólicos de eje horizontal*. Recuperado el 6 de mayo de 2015, de: <https://arquitectmodern.wordpress.com/>
- [3] Asociación empresarial eólica. (2007). *Sobre eólica*. Recuperado el 16 de agosto de 2015, de: <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/>
- [4] Bonet, C. M. (2004). “Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad”. *Ingeniería mecánica*. Vol. 8, No 3.
- [5] CETASA. (2009). *Parques eólicos*. Recuperado el 16 de abril de 2015, de: <http://www.cetasaeolica.com/>
- [6] Constructalia. (2014). *El mayor aerogenerador del mundo*. Recuperado el 2 de mayo de 2015, de: <http://www.constructalia.com/english/app/pdf?key=ajC@&lang=EN>
- [7] *El diagrama de Pareto*. Organización industrial, Universidad de Vigo. Recuperado el 11 de junio de 2015, de: <http://gio.uvigo.es/asignaturas/gestioncalidad/GCaI0405.DiagramaPareto.pdf>
- [8] Funes, J.F. (2009). *Análisis simplificado de la respuesta estructural de una pala de aerogenerador*. [Proyecto fin de carrera]. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado el 29 de Julio de 2015, de: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/8015#preview>
- [9] Gálvez, R. (2005). *Diseño y cálculo preliminar de la torre de un aerogenerador*. [Proyecto fin de carrera]. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado el 13 de abril de 2015, de: [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12046/PFC\\_Raquel\\_Galvez\\_Roman\\_2005.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12046/PFC_Raquel_Galvez_Roman_2005.pdf?sequence=1)

- [10] González Fernández, F. J. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid: FUNDACIÓN CONFEMETAL.
- [11] IFM. (1999). *Energía eólica*. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de: [http://www.ifm.com/ifmes/web/apps-by-industry/cat\\_060.html](http://www.ifm.com/ifmes/web/apps-by-industry/cat_060.html)
- [12] Knezevic, J. (1996). *Mantenimiento*. Madrid: Isdefe.
- [13] Made-Endesa fabricante. Made serie 800. Recuperado el 20 de abril de 2015, de: [http://www.sotaventogalicia.com/recursos/custom/area\\_tecnica/instalacion\\_s\\_eolicas/caracteristicas\\_maquinas/esp/docs/doc\\_006.pdf](http://www.sotaventogalicia.com/recursos/custom/area_tecnica/instalacion_s_eolicas/caracteristicas_maquinas/esp/docs/doc_006.pdf)
- [14] Ministerio de educación y ciencias (2001) *Principios de conversión de la energía eólica*. Madrid.
- [15] Monchy, F. (1990). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*. Barcelona: MASSON.
- [16] Monografías. (fecha). *Aerogeneradores: Generadores de electricidad y productores de agua*. Recuperado el 23 de abril de 2015, de: <http://www.monografias.com/trabajos82/aerogeneradores-generadores-electricidad-y-productores-agua/aerogeneradores-generadores-electricidad-y-productores-agua2.shtml>
- [17] Montes, E. (2014). *Claves del futuro de la energía eléctrica en España*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 10 de Agosto de 2015, de: <http://www.unesa.es/biblioteca/category/17-ponencias>
- [18] Muñoz Abella, M. B. (2003). *Mantenimiento industrial*. Madrid: Tecnología de máquinas, Universidad Carlos III de Madrid.
- [19] NEGMIICON. NM 48/750. Recuperado el 20 de abril de 2015, de [http://www.enteka.gr/pdf/nm48\\_750\\_gb.pdf](http://www.enteka.gr/pdf/nm48_750_gb.pdf)
- [20] NEGMIICON. NM 52/900. Recuperado el 20 de abril de 2015, de: [http://www.enteka.gr/pdf/nm52\\_900\\_gb.pdf](http://www.enteka.gr/pdf/nm52_900_gb.pdf)
- [21] Opex energy. (2009). *Eólica*. Recuperador el 15 de mayo de 2015, de: [http://opex-energy.com/eolica/principales\\_averias\\_eolica.html](http://opex-energy.com/eolica/principales_averias_eolica.html)
- [22] Pérez A, Juan; C., Serrat (2006). *Distribuciones habituales en fiabilidad*. Barcelona: Ingeniería Industrial, Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperador el 24 de abril de 2015, de: [http://www.uoc.edu/in3/e-math/docs/Q1P\\_EI\\_02.pdf](http://www.uoc.edu/in3/e-math/docs/Q1P_EI_02.pdf)
- [23] *Prácticas de fiabilidad*. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de: [http://www.est.uc3m.es/esp/nueva\\_docencia/leganes/ing\\_industrial/estadistica\\_industrial/practicas.html](http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/leganes/ing_industrial/estadistica_industrial/practicas.html)
- [24] Rodríguez Amenedo, J. L.; Burgos, J.C.; Arnálte, S. (2003). *Sistemas eólicos de producción de energía eléctrica*. Madrid: Editorial Rueda.
- [25] Salinas, J. (2010). *Control de un aerogenerador*. [Proyecto fin de carrera]. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 28 de abril de 2015, de:



[http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11274/PFC\\_1.pdf?sequence=2](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11274/PFC_1.pdf?sequence=2)

- [26] Sobreadministracao. (2015). *Curva ABC*. Recuperado el 5 de Junio de 2015, de:  
<http://www.sobreadministracao.com/o-que-e-e-como-funciona-a-curva-abc-analise-de-pareto-regra-80-20/>
- [27] Valaer, J.I.;Barco, F. (2011).*Montaje y mantenimiento mecánico de parque eólico*. Málaga: Publicaciones Vértice.
- [28] Villagarcía, T. (2003). *Fiabilidad*. Madrid: Departamento de estadística, Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado el 22 de abril de 2015, de:  
[http://www.est.uc3m.es/esp/nueva\\_docencia/leganes/ing\\_industrial/estadistica\\_industrial/doc\\_grupo1/archivos/Fiabilidad%20apuntes%20PDF.pdf](http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/leganes/ing_industrial/estadistica_industrial/doc_grupo1/archivos/Fiabilidad%20apuntes%20PDF.pdf)
- [29] Wikipedia. (2015). *Aerogenerador*. Recuperado el 18 de Julio de 2015, de:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>



# ANEXOS

---



# ANEXO A:

---

## DESCRIPCIÓN DE LOS PARQUES EÓLICOS



## A.1. PARQUE EÓLICO ONCALA.

El parque eólico Oncala formado por 33 aerogeneradores Negmicon (NM 750KW) de paso fijo de 50m de altura, con una potencia total instalada de 24.750KW, fue puesto en marcha el 28/05/2001.

El parque está ubicado en el término municipal de Oncala a 1400m de altitud. [5]

En la figura A.1 vemos un mapa topográfico y la ubicación de los 33 aerogeneradores en el terreno.

La tabla A.1 recoge las características del aerogenerador Negmicon 48/750.

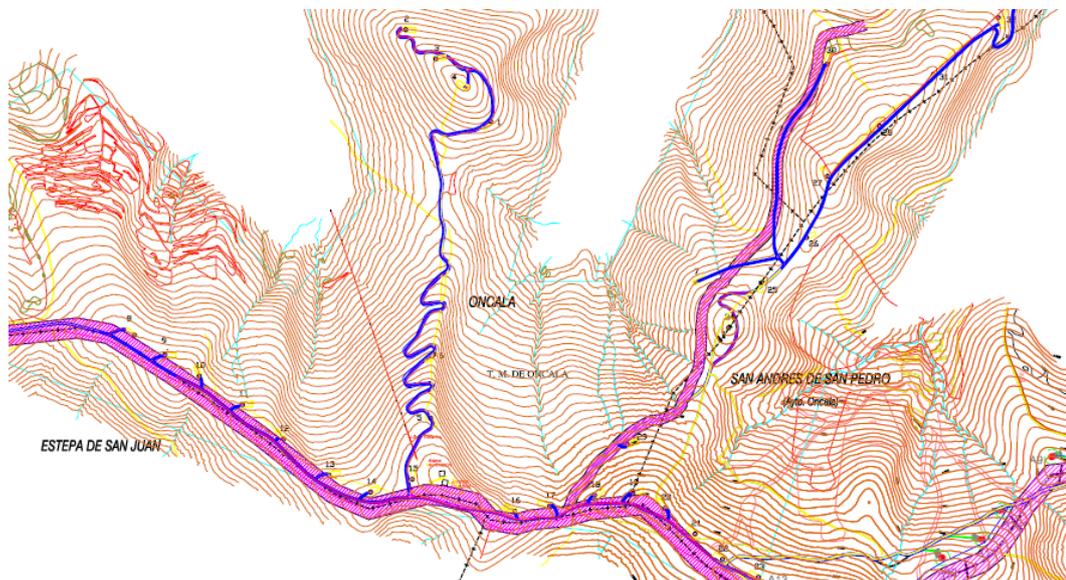


Figura A.1. Mapa parque eólico Oncala. Fuente: CETASA

Tabla A.1. Características técnicas del aerogenerador NM 48/750. [19]

ROTOR	
Diámetro del rotor	48.2 m
Área barrida por el rotor	1824 m <sup>2</sup>
Número de palas	3
Revoluciones del rotor	22/15 rpm
Posición de parada	A barlovento

MULTIPLICADOR	
Tipo	Planetario de eje paralelo
Cociente	1:67.5
Eje principal	Eje y brida forjados
Cojinete principal	Cojinete de rodillos esférico
Refrigeración	Intercambiador de calor con bomba

<b>GENERADOR</b>	
Tipo	Asíncrono, 4-6 polos
Voltaje nominal	690 V
Frecuencia nominal	50 Hz
Potencia nominal	750/200 kW
Refrigeración	Enfriamiento por líquido bombeado

<b>SISTEMA DE FRENO</b>	
Freno aerodinámico	Hidráulico, seguro al fallo
Freno de disco	1 freno hidráulico, seguro al fallo

<b>SISTEMA DE ORIENTACIÓN</b>	
Tipo	Cojinete de bolas
Freno de orientación	3 frenos de fricción
Mecanismo conductor	4 engranajes planetarios eléctricos

<b>TORRE</b>	
Tipo	Torre cónica pintada de acero
Altura de buje	Según especificación

<b>REGULADOR</b>	
Tipo	Control por ordenador
Sistema de arranque	Suave por tiristor
Batería de condensadores	Sin carga compensada
Control remoto	Por módem

<b>PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO</b>	
Potencia máxima	750 kW
Regulación de potencia	Paso fijo
Velocidad del viento nominal	16m/s
Velocidad de arranque	4 m/s
Velocidad de parada	25 m/s

<b>SENSORES</b>	
Sensores RPM	Rotor, generador y sistema de orientación
Sensores de la temperatura	Multiplicador, generador, regulador
Sensores/alarmas térmicos	Interruptor principal, protección motor
Sensores de vibración	Góndola, rotor

Meteorología	Anemómetro, veletas, termómetro
Sistemas hidráulicos	Interruptores sensibles a la presión, transductores de presión

En la figura A.2 vemos parte del parque eólico Oncala y en la figura A.3 observamos la parte superior de un aerogenerador NM 48/750 situado en el parque eólico Oncala.



Figura A.2. Parque eólico Oncala.



Figura A.3. Aerogenerador NM48/750 del parque eólico Oncala.

## A.2. PARQUE EÓLICO MAGAÑA

El parque eólico Magaña formado por 33 aerogeneradores Negmicon (NM 900KW) de paso fijo de 55m de altura, con una potencia total instalada de 24.750KW, fue puesto en marcha el 21-10-2002.

El parque está ubicado en los términos municipales de Valtajeros, Oncala, San Pedro Manrique a 1400m de altitud. [5]

La figura A.4 muestra el mapa topográfico y la distribución de los aerogeneradores del parque eólico Magaña. La figura A.5 es una fotografía tomada de la parte superior de un aerogenerador del parque eólico Magaña.

En la tabla A.2 están recogidas las características del aerogenerador Negmicon 52/900.

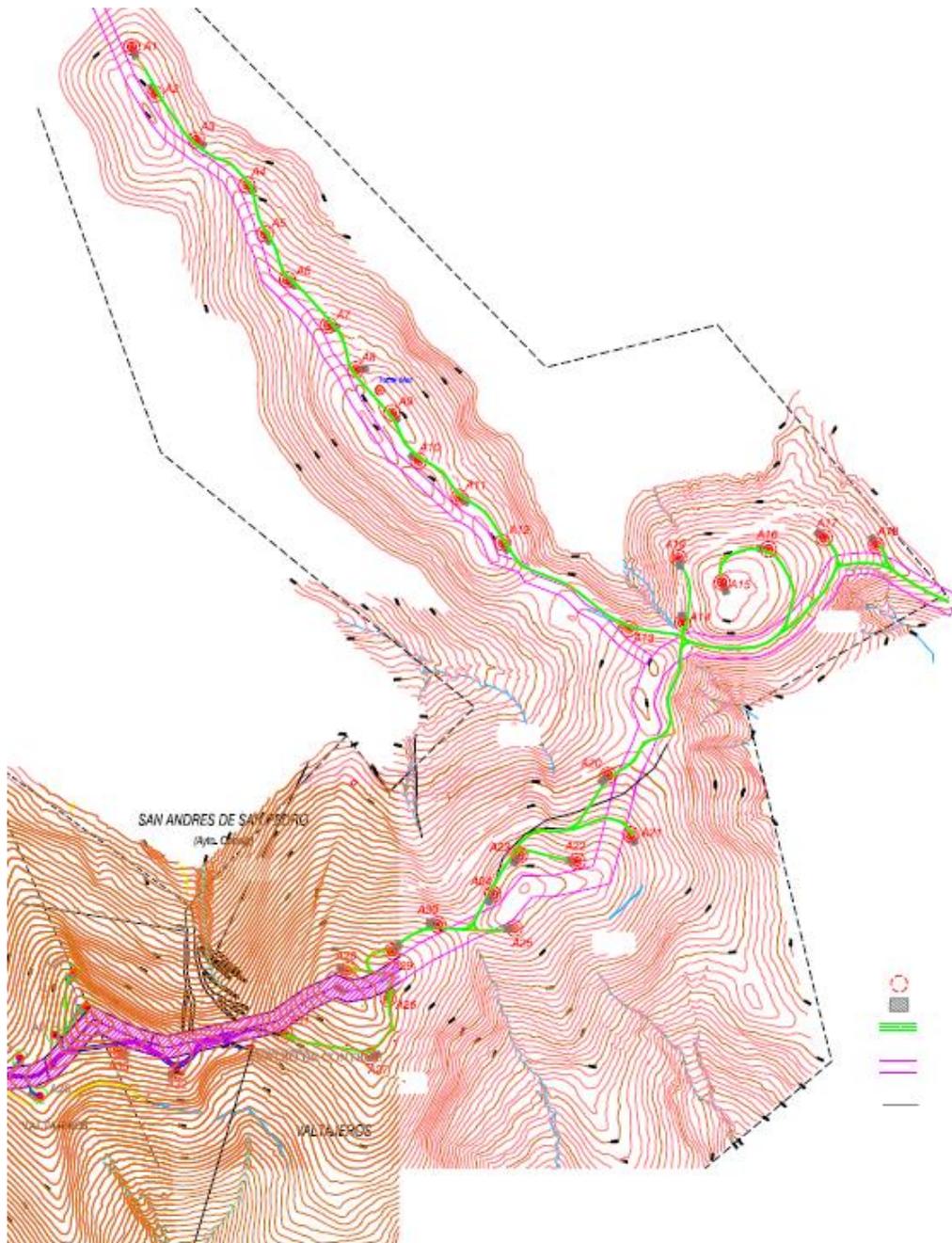


Figura A.4. Mapa parque eólico El Cayo. Fuente: CETASA

### Características técnicas del aerogenerador NM 52/900:

Tabla A.2. Características técnicas del aerogenerador NM 52/900. [20]

ROTOR	
Diámetro del rotor	52.0 m
Área barrida por el rotor	2140 m <sup>2</sup>
Número de palas	3
Revoluciones del rotor	22/15 rpm

Posición de parada	A barlovento
--------------------	--------------

<b>MULTIPLICADOR</b>	
Tipo	Planetario de eje paralelo
Cociente	1:67.5
Eje principal	Eje y brida forjados
Cojinete principal	Cojinete de rodillos esférico
Refrigeración	Intercambiador de calor con bomba

<b>GENERADOR</b>	
Tipo	Asíncrono, 4-6 polos
Voltaje nominal	690 V
Frecuencia nominal	50 Hz
Potencia nominal	900/200 kW
Refrigeración	Enfriamiento por líquido bombeado

<b>SISTEMA DE FRENO</b>	
Freno aerodinámico	Hidráulico, seguro al fallo
Freno de disco	1 freno hidráulico, seguro al fallo

<b>SISTEMA DE ORIENTACIÓN</b>	
Tipo	Cojinete deslizante
Mecanismo conductor	3 engranajes planetarios eléctricos

<b>TORRE</b>	
Tipo	Torre cónica pintada de acero
Altura de buje	Según especificación

<b>REGULADOR</b>	
Tipo	Control por ordenador
Sistema de arranque	Suave por tiristor
Compensación de fase	Generador en vacío
Control remoto	Por módem

<b>PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO</b>	
Potencia máxima	900 kW
Regulación de potencia	Paso fijo
Velocidad de arranque	3,5 m/s
Velocidad de parada	25 m/s

SENSORES	
Sensores RPM	Rotor, generador y sistema de orientación
Sensores de la temperatura	Multiplicador, generador, regulador
Sensores de vibración	Góndola, rotor
Meteorología	Anemómetro, veletas, termómetro
Sistemas hidráulicos	Transductores de presión



Figura A.5. Aerogenerador NM 52/900 del parque eólico Magaña.

La distribución en la góndola de los diferentes elementos para los aerogeneradores Negmicon 750 KW y Negmicon 900 KW está representada en la figura A.6.



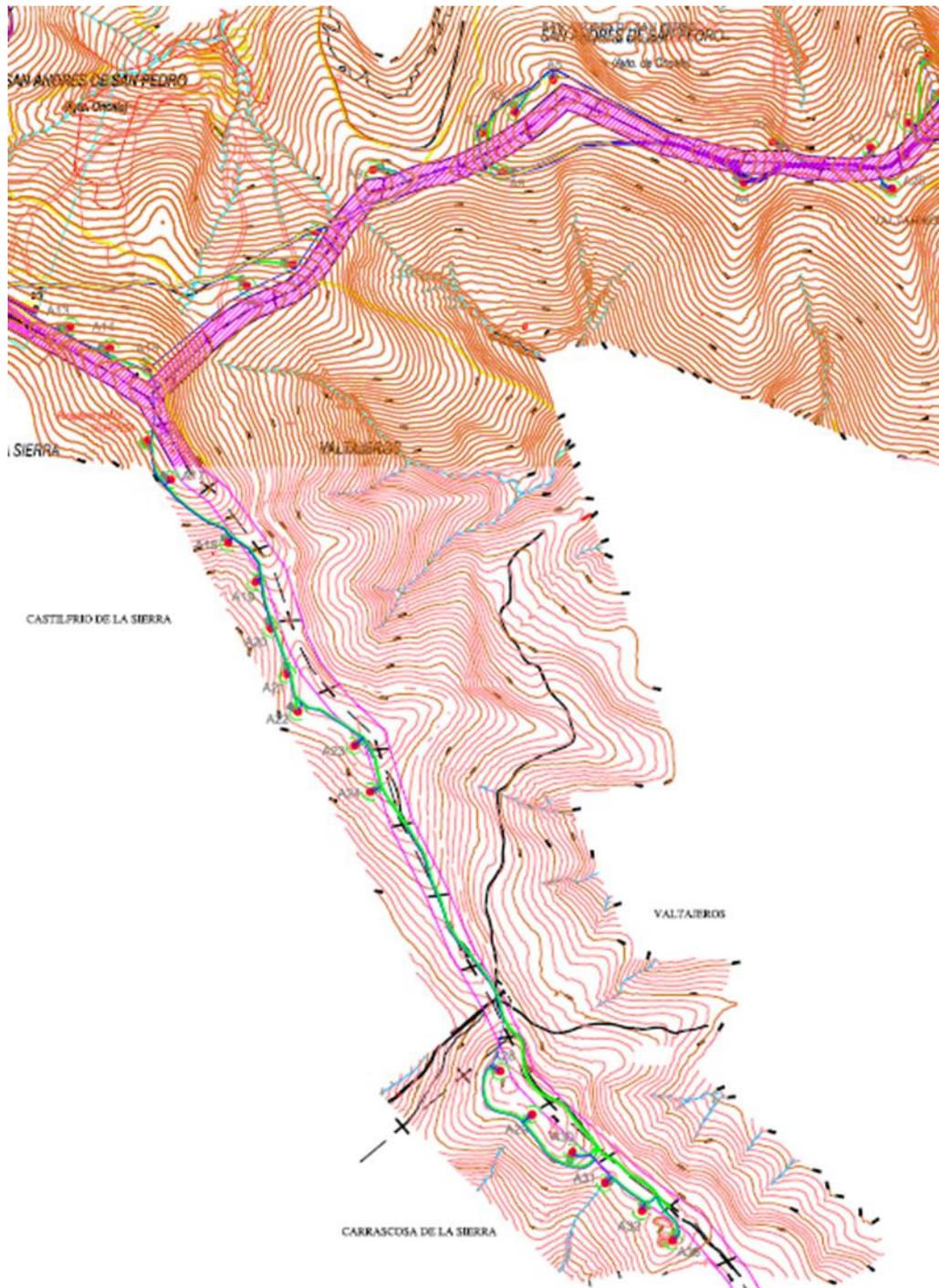


Figura A.7. Mapa parque eólico Castilfrío. Fuente: CETASA

Tabla A.3. Características técnicas del aerogenerador Made AE-52 Serie 800. [13]

ROTOR	
Potencia nominal	800 kW
Diámetro del rotor	52 m
Control de potencia	Por cambio de paso y velocidad 100% variable

Sistema de orientación	Activo a barlovento
Área barrida por el rotor	2132,7 m <sup>2</sup>
Número de palas	3
Tipo de pala	LM 25,1 P
Rango de velocidades del rotor	12,8 a 25,7 rpm
Altura del buje sobre el suelo	50/60 m
Ángulo de inclinación	5°

<b>MULTIPLICADOR</b>	
Tipo	Ejes paralelos, planetario
Relación de multiplicación	1:58,34

<b>GENERADOR</b>	
Tipo de generador	Síncrono trifásico, de cuatro polos
Tensión de alimentación	1.000 V +/- 5%
Aislamiento	Clase H, uso F
Protección	IP 54

<b>CONVERTIDOR DE FRECUENCIA</b>	
Topología	Rectificador de diodos, chopper elevador, inversor de IGCT'S
Tensión de alimentación	1000 V
Frecuencia de red	50 Hz +/- 2%
Gestión de coseno de $\phi$	Máxima eficiencia a todas las cargas

<b>SISTEMA DE FRENO</b>	
Freno principal	Cambio de paso de las palas
Freno de seguridad	Freno de disco, pinza hidráulica en el eje rápido

<b>SISTEMA DE ORIENTACIÓN</b>	
Tipo	Moto-reductores eléctrico, con etapas reductoras y planetaria
Tipo de pinzas de freno	Pinzas de freno hidráulicas

<b>TORRE</b>	
Tipo	Tronco-cónica de acero soldado

<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	
Clase de viento	I según IEC 61400-I
Velocidad de arranque	3,5 m/s

Velocidad de parada			25m/s
Temperatura ambiente de funcionamiento		de	-10°C ÷ 40°C

<b>ESTIMACIÓN DE PESOS</b>		
Rotor		15500 kg
Góndola		28200 kg

La figura A.8 muestra un esquema de las partes del aerogenerador Made Serie 800, existiendo diferentes modelos de diámetros de rotor para la misma potencia nominal. En los parques eólicos de Castilfrío y El Cayo tenemos aerogeneradores de diámetro de rotor 52000 mm.

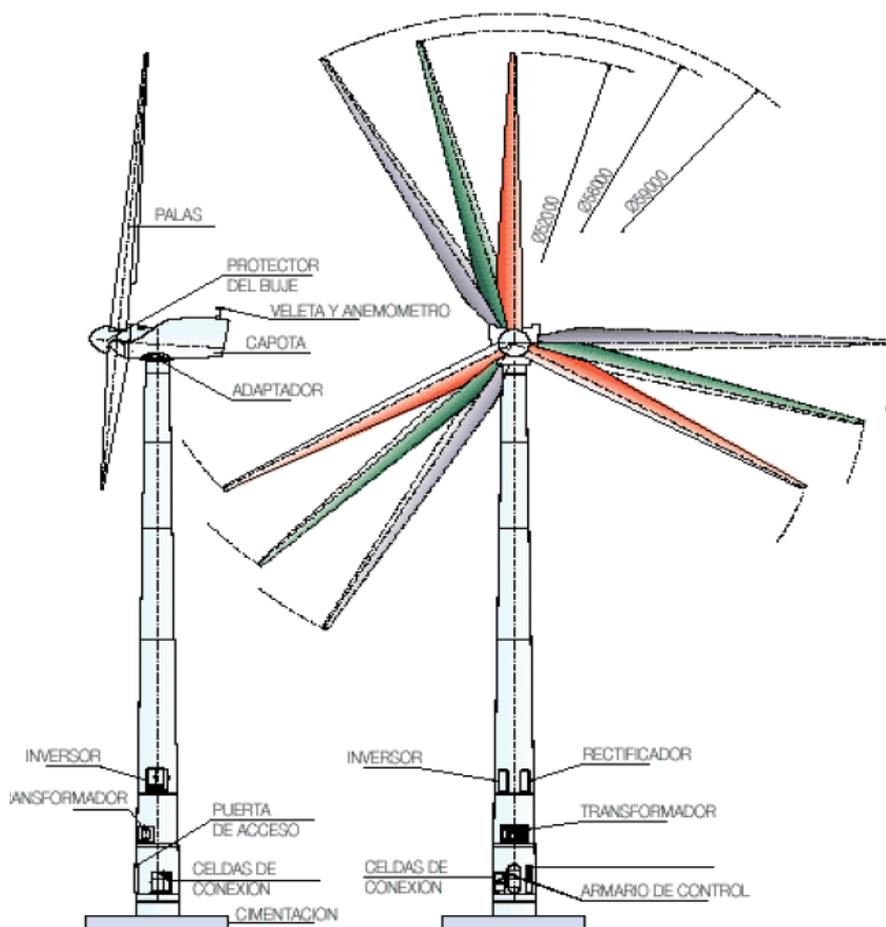
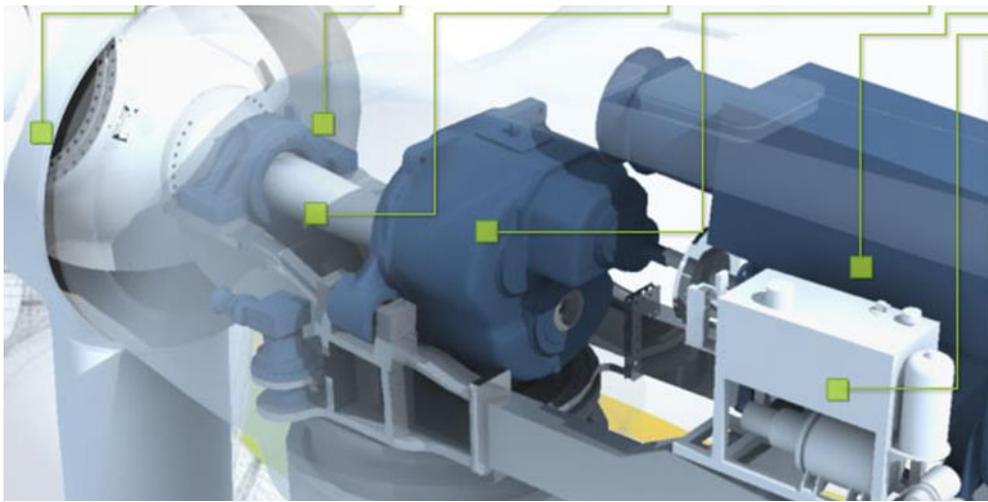


Figura A.8. Distribución de los elementos en el aerogenerador Made AE-52 Serie 800. [13]

En la figura A.9 está representada la distribución de los elementos dentro de la góndola del aerogenerador Madre AE-52 Serie 800.

En la figura A.10 podemos ver parte del parque eólico Castilfrío y en la figura A.11 observamos la fotografía de la parte superior de un aerogenerador de este mismo parque.



**Figura A.9.** Configuración de la góndola del aerogenerador Made AE-52 Serie 800.



**Figura A.10.** Parque eólico Castilfrío.



Figura A.11. Aerogenerador Serie 800 AE 52 del parque de Castilfrío.

#### A.4. PARQUE EÓLICO EL CAYO

El parque eólico El Cayo formado por 33 aerogeneradores Made (AE-52 serie 800KW) de paso variable de 55m de altura, con una potencia total instalada de 24.750KW, fue puesto en marcha el 18-8-2004.

El parque está ubicado en los términos municipales de Villar del Río, Oncala y San Pedro Manrique a 1100 m de altitud. [5]

Los aerogeneradores de este parque son del mismo modelo que los del parque eólico de Castilfrío.

En la figura A.12 vemos el mapa donde están distribuidos los 33 aerogeneradores del parque eólico y en la figura A.13 podemos ver 12 de los 33 aerogeneradores que se encuentran en el parque.



Figura A.12. Mapa parque eólico El Cayo. Fuente: CETASA



Figura A.13. Fotografía del parque eólico El Cayo.

En la figura A.14 vemos el exterior de un aerogenerador del parque eólico El Cayo.



**Figura A.14.** Aerogenerador del parque eólico El Cayo.

En la figura A.15 se muestra una fotografía vista en planta de los cuatro parques eólicos. En ella, aparecen numerados los aerogeneradores de los distintos parques.

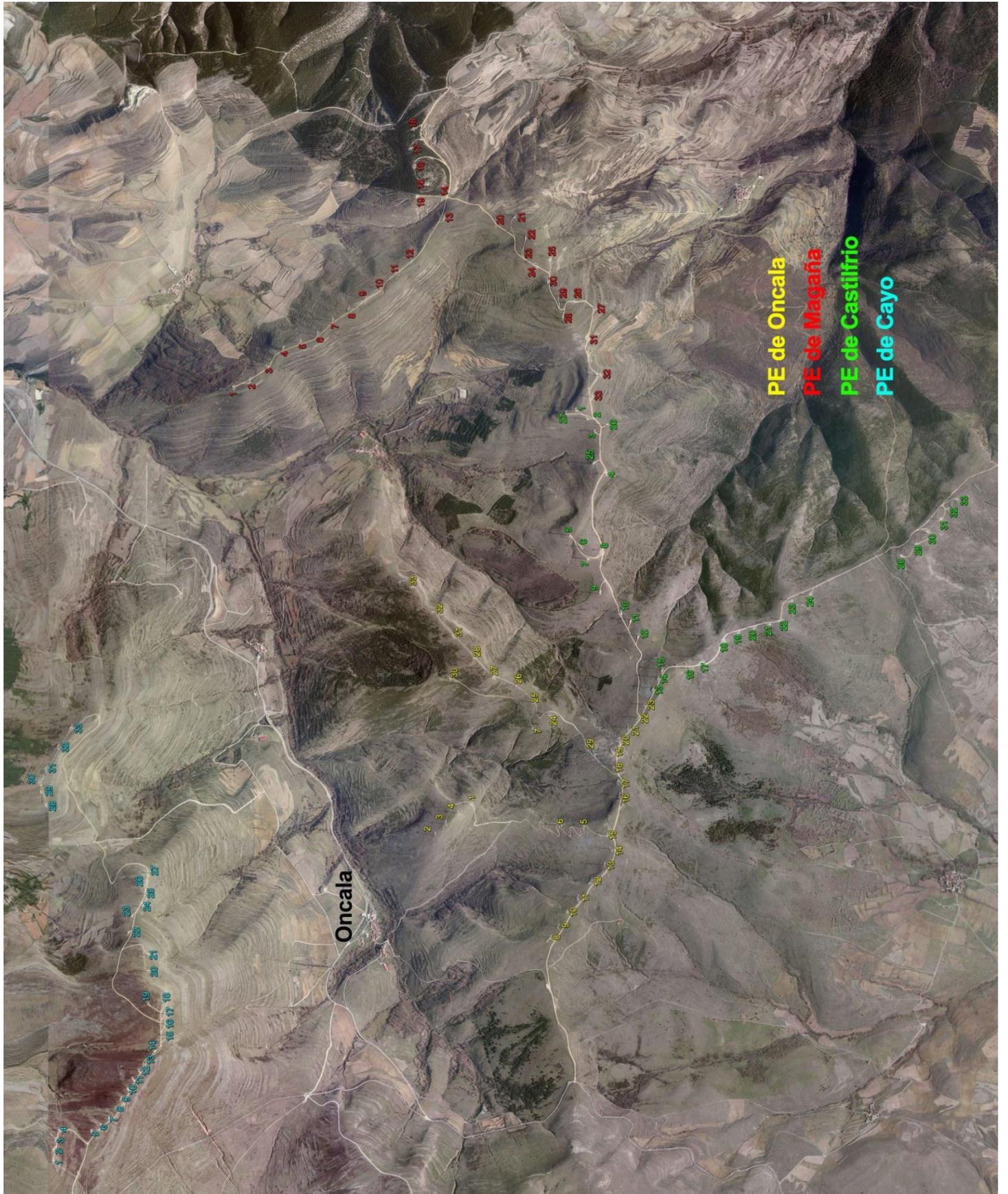


Figura A.15. Imagen satélite de la zona de los cuatro parques. Fuente: CETASA

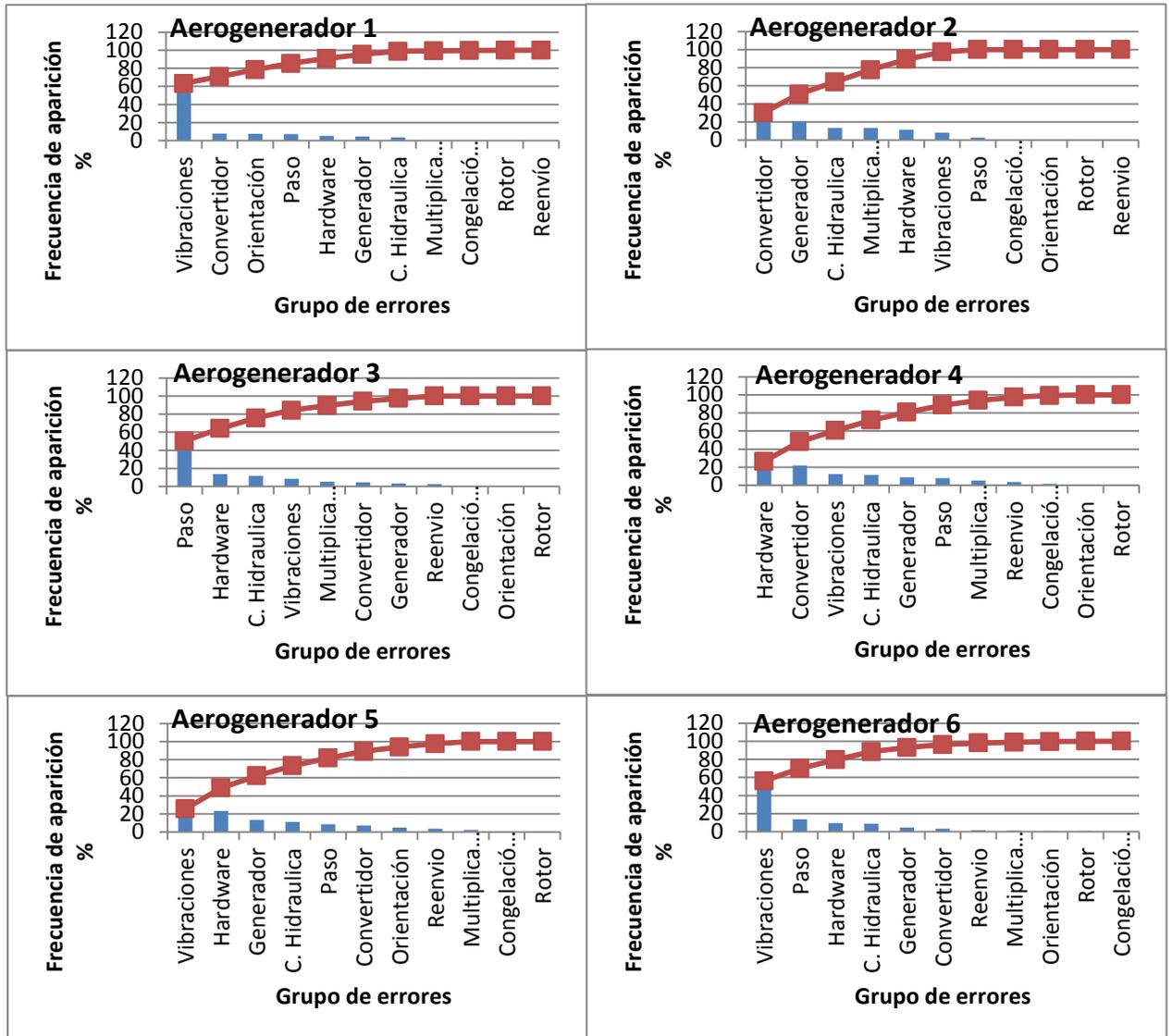
# ANEXO B:

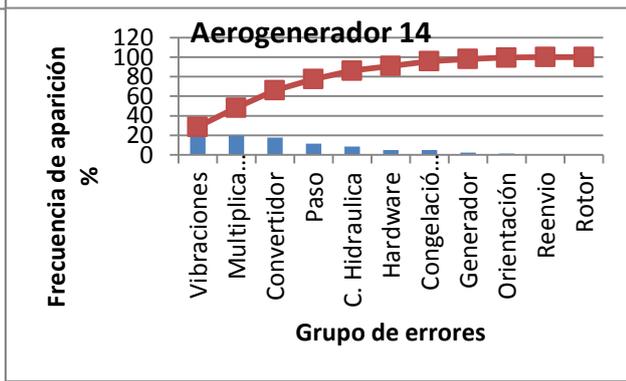
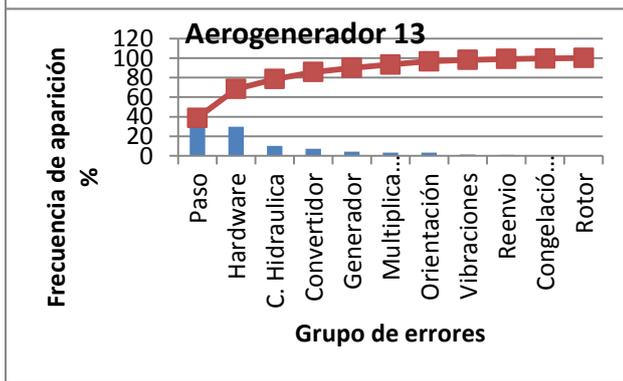
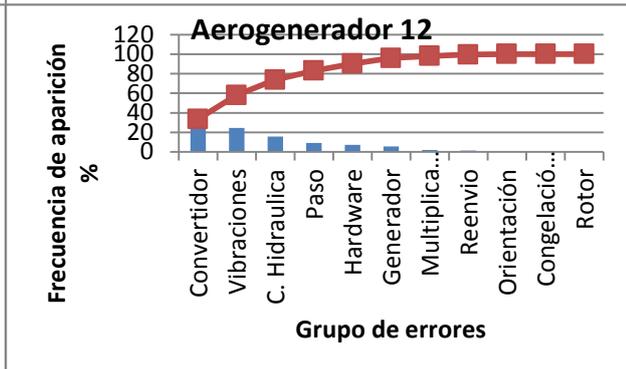
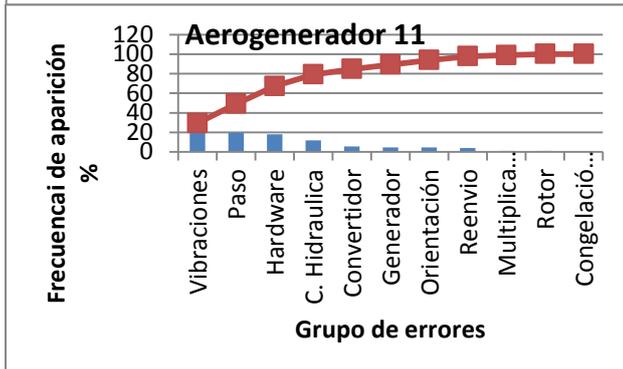
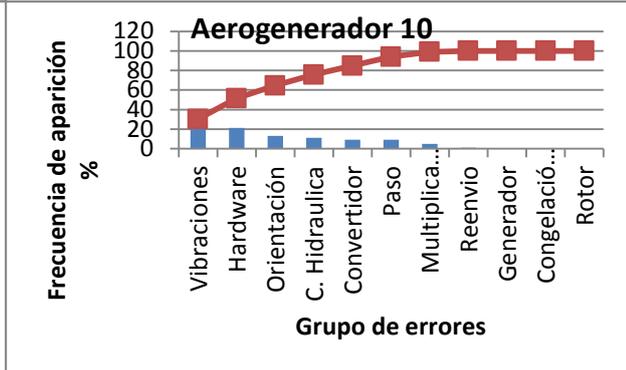
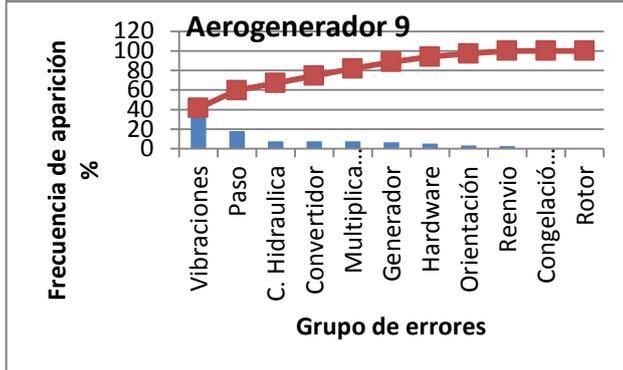
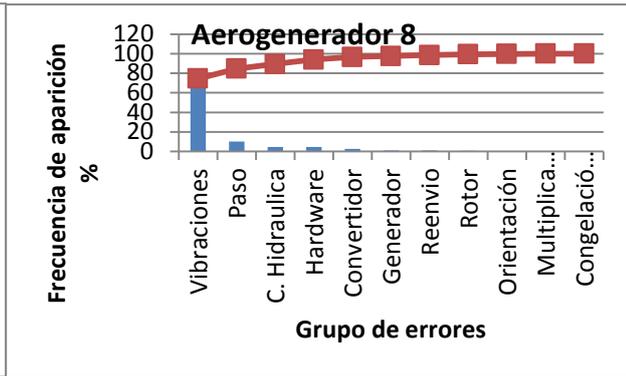
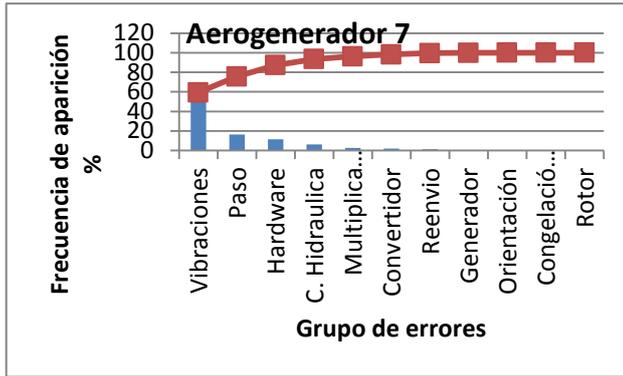
---

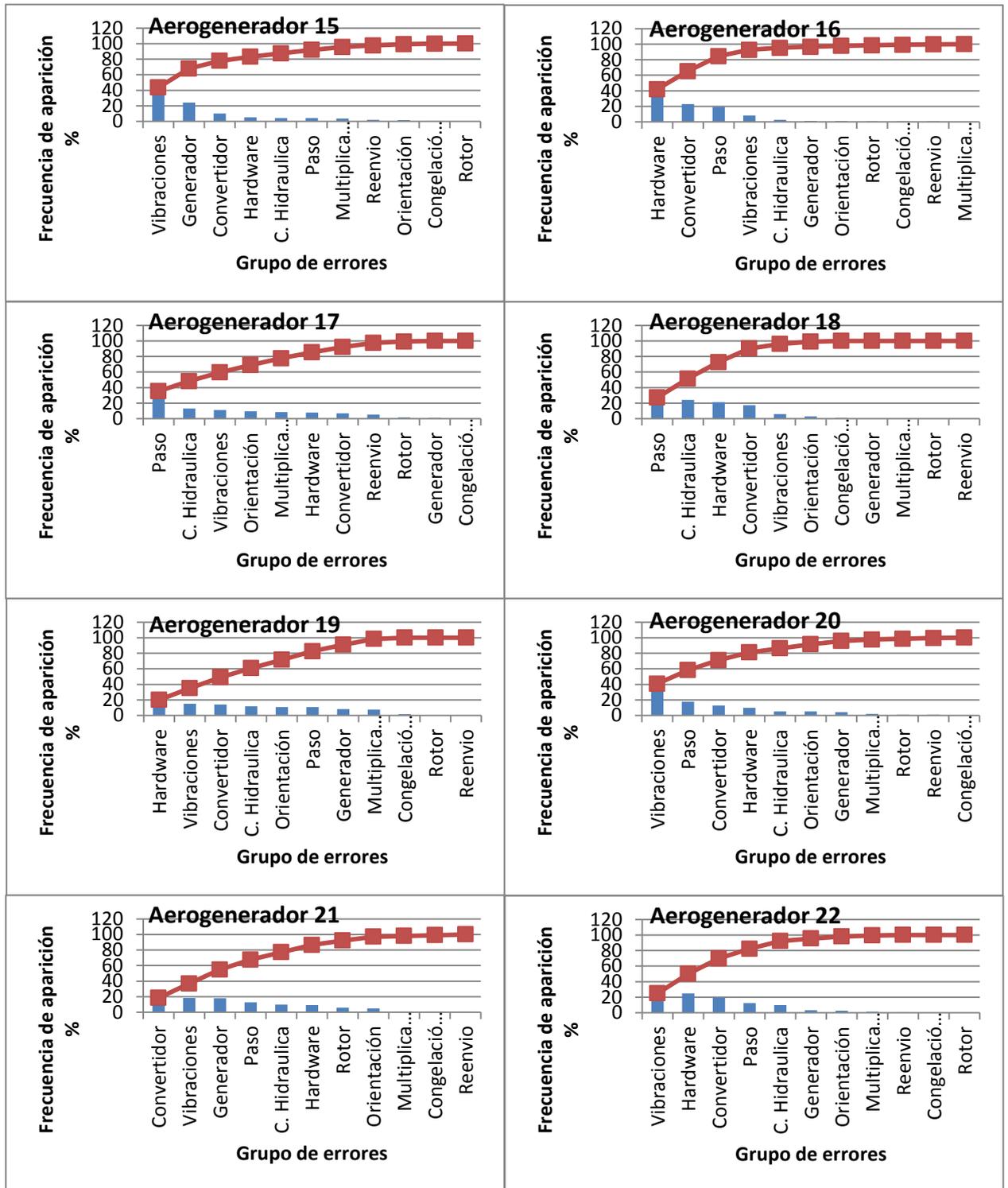
GRÁFICO EN N

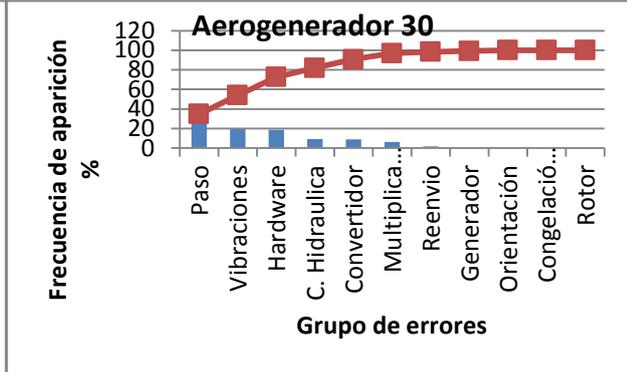
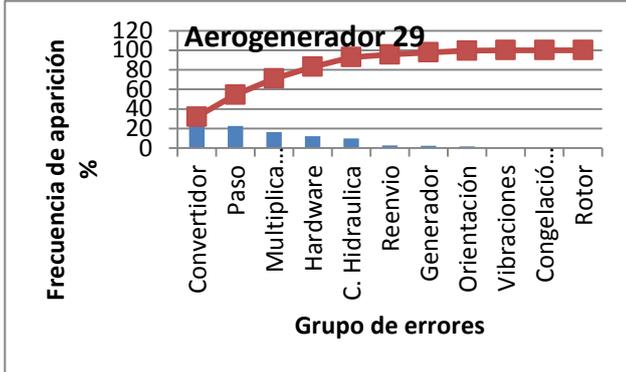
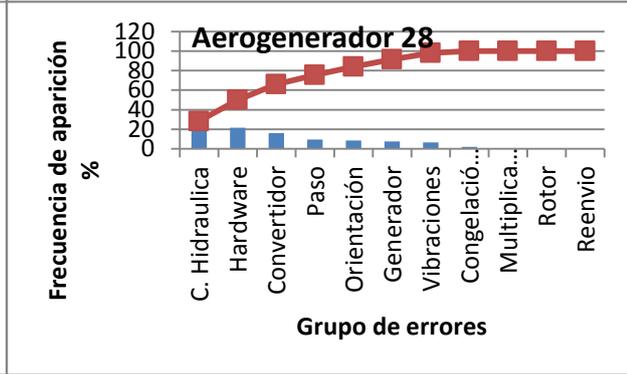
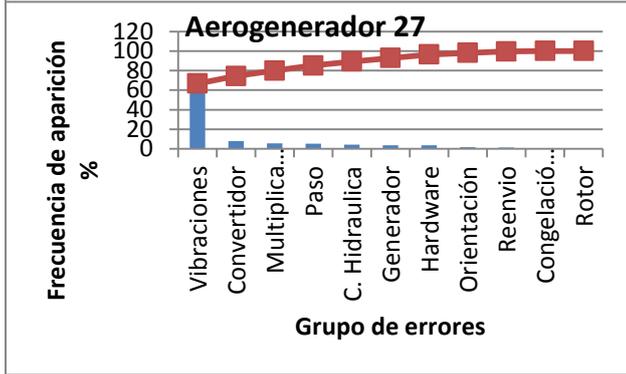
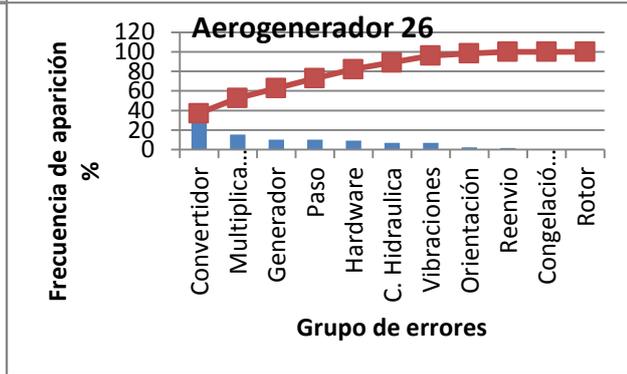
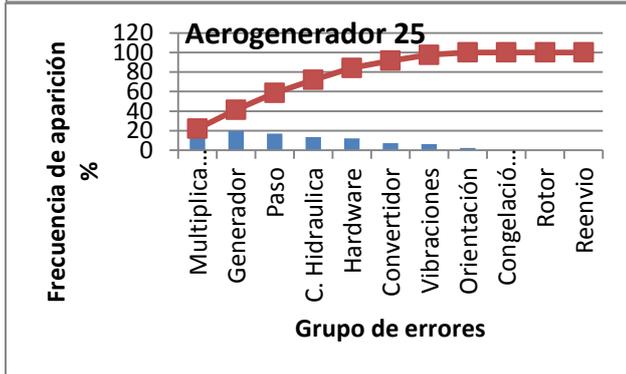
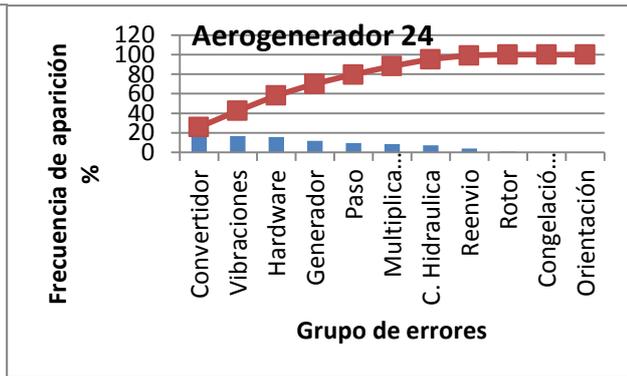
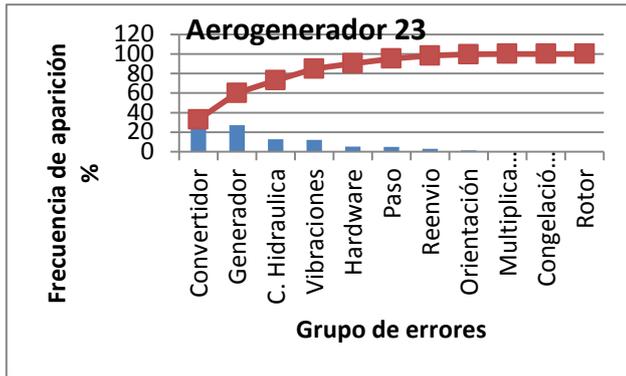


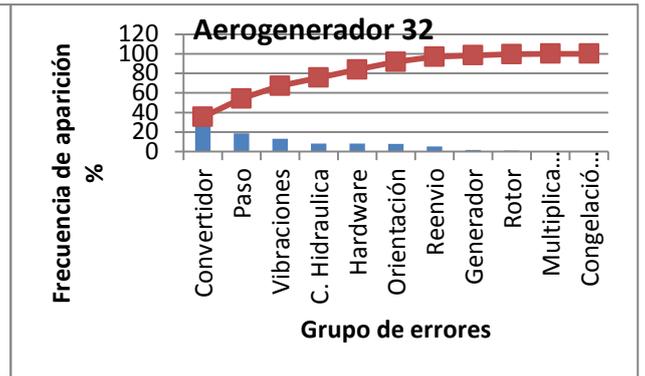
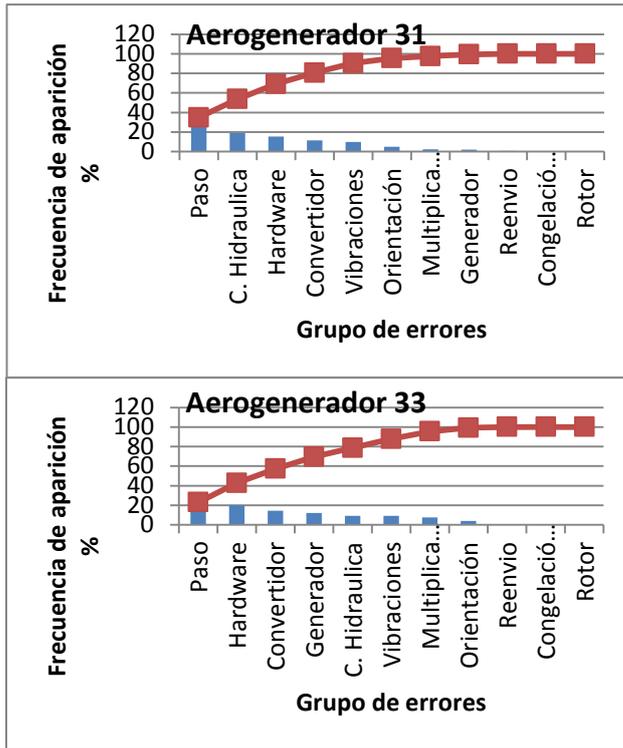
## B.1. PARQUE EÓLICO CASTILFRÍO



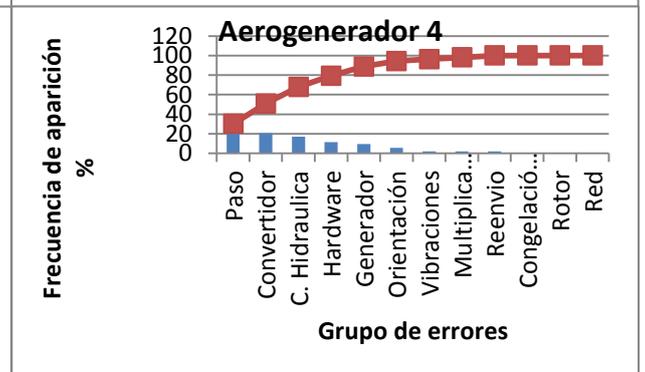
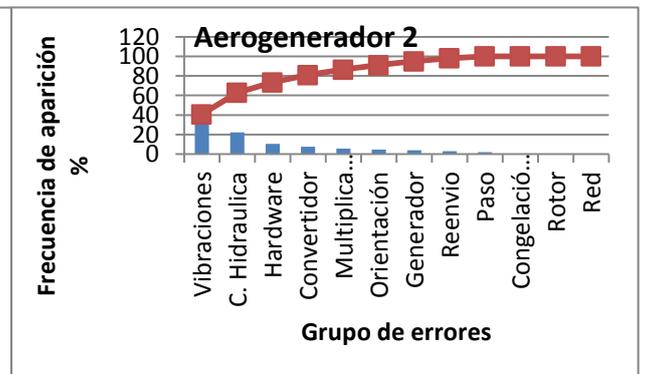
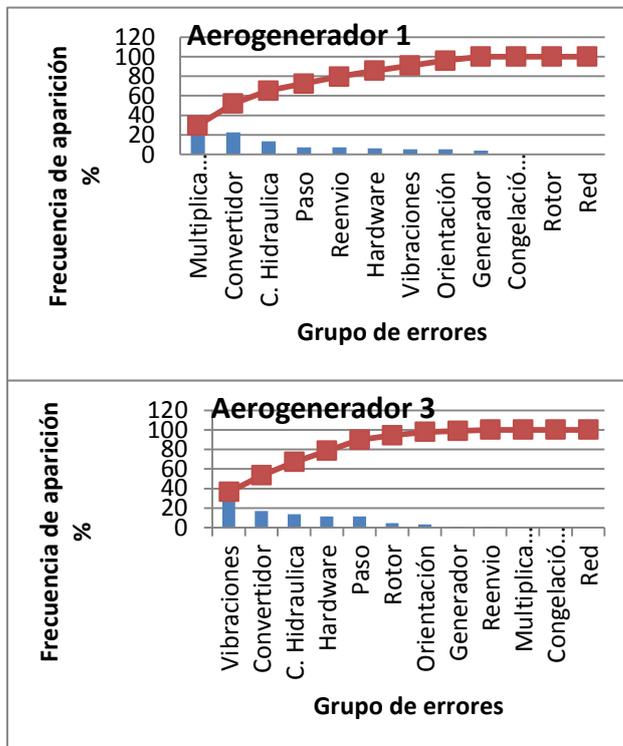


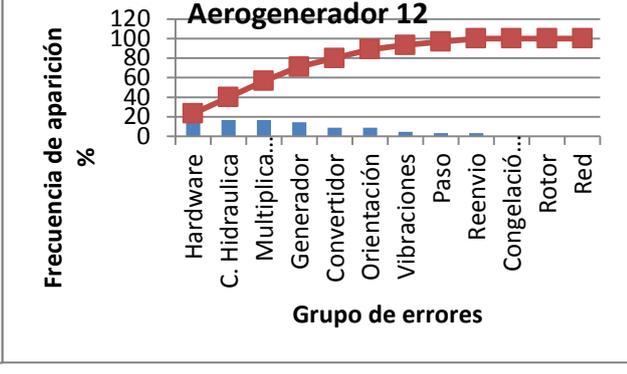
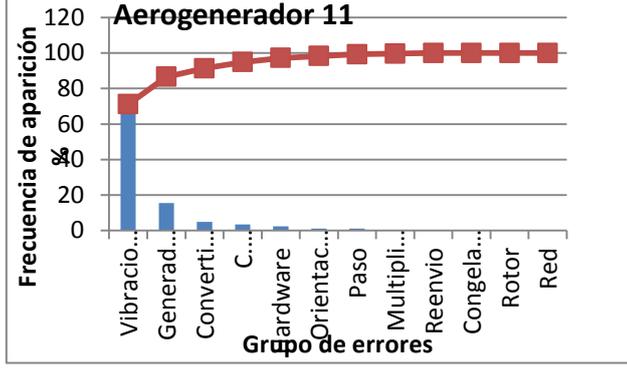
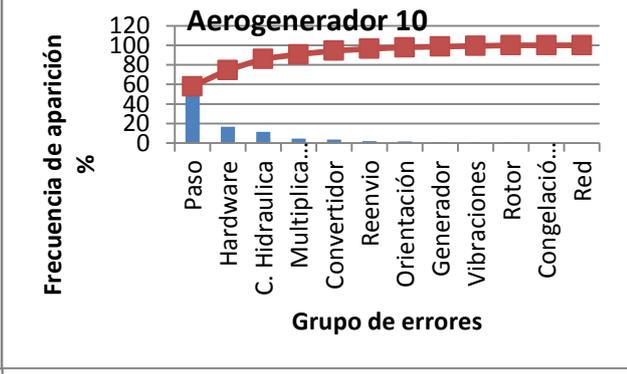
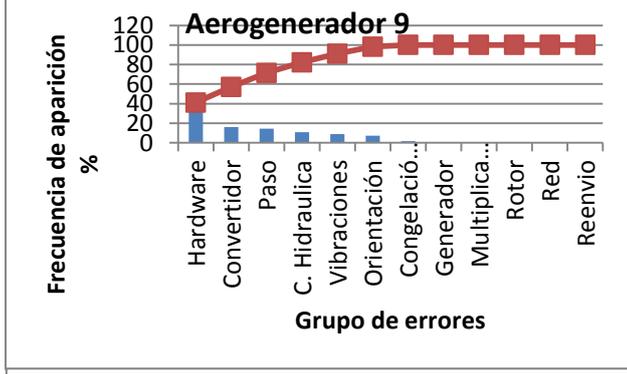
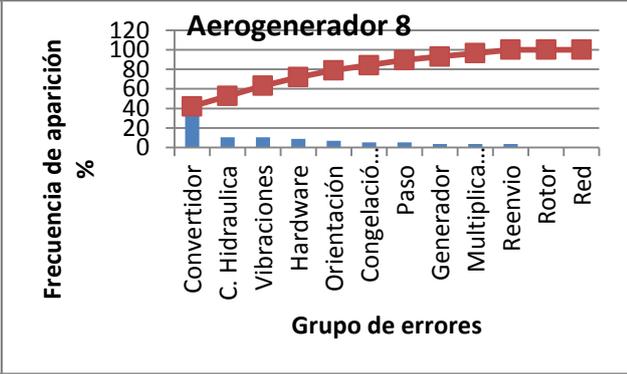
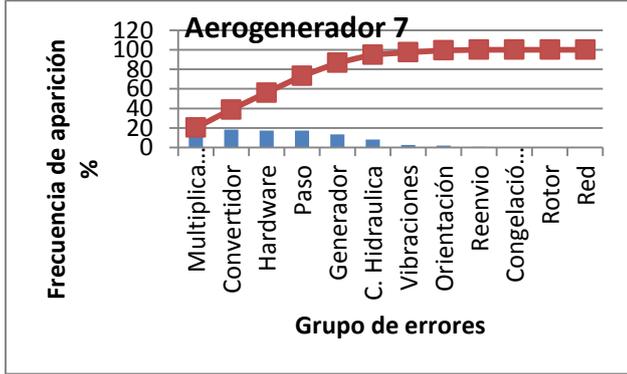
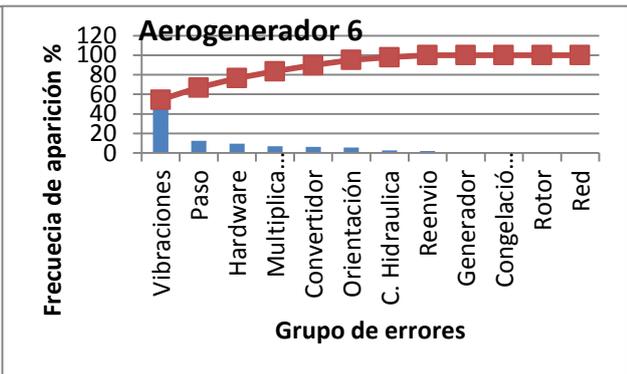
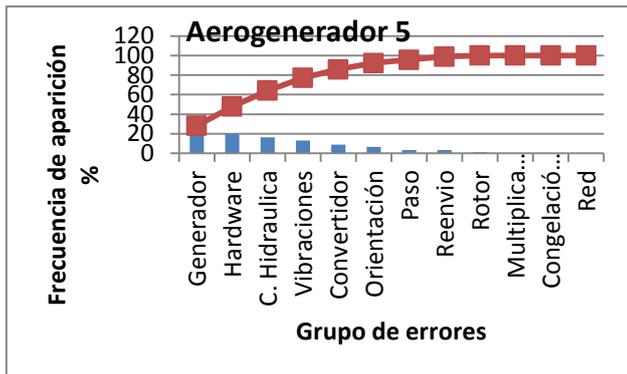


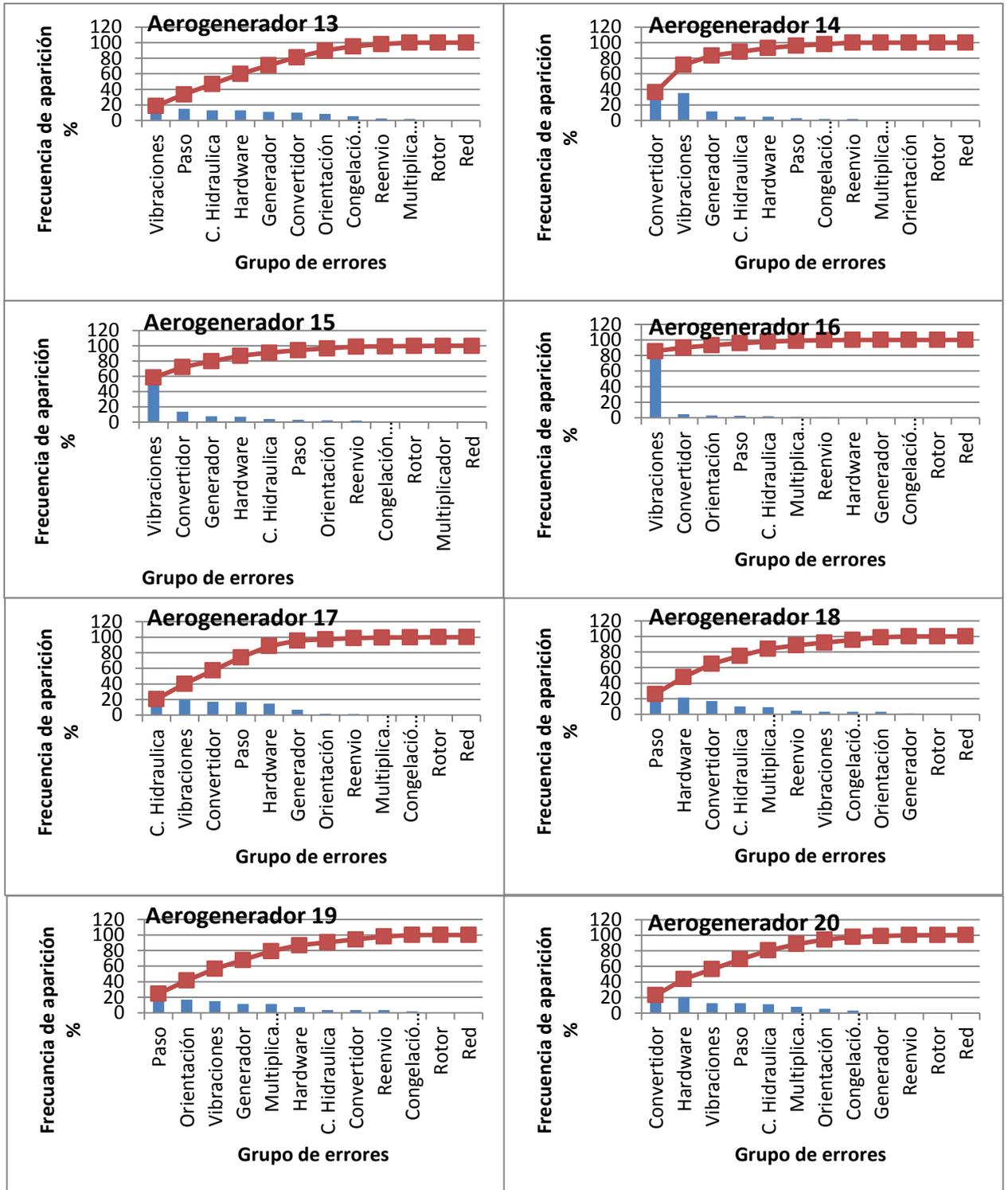


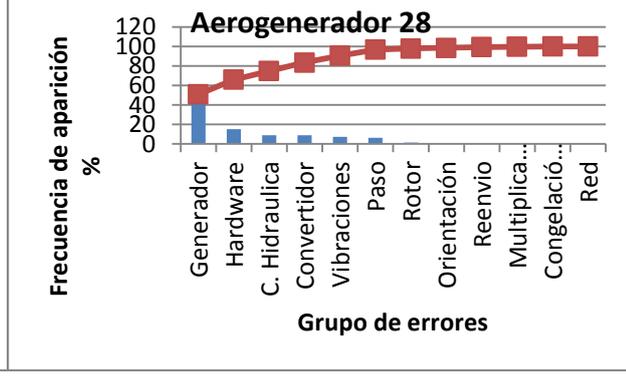
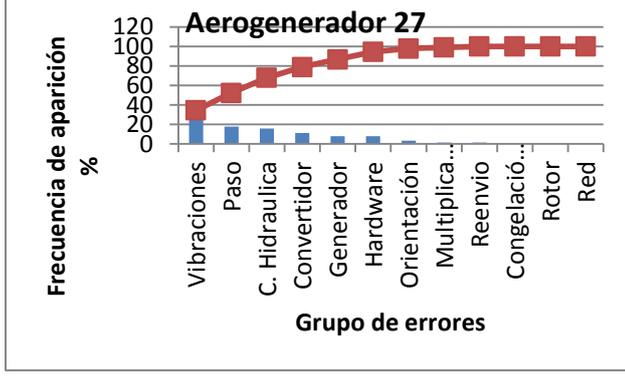
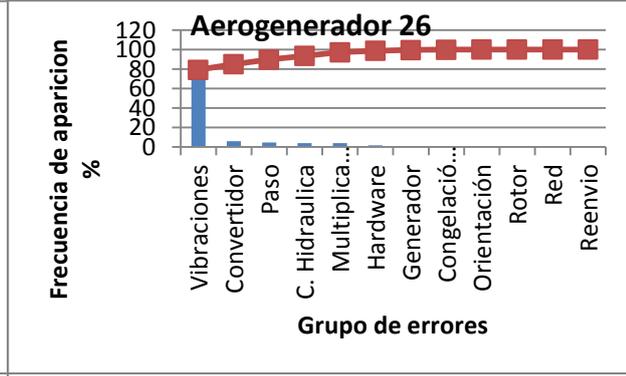
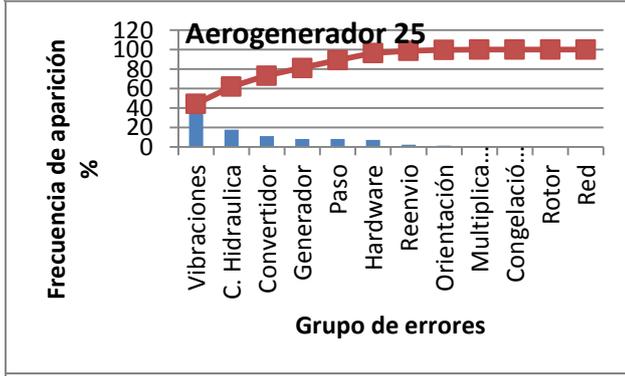
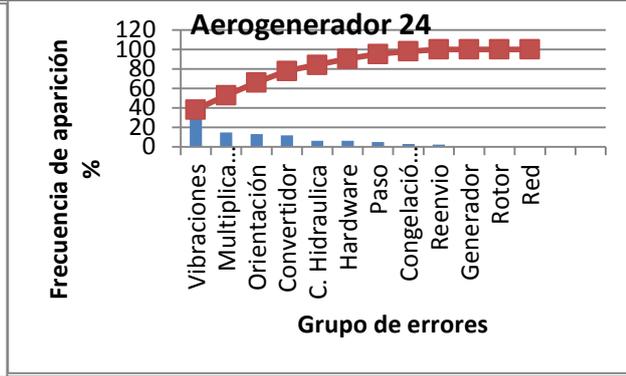
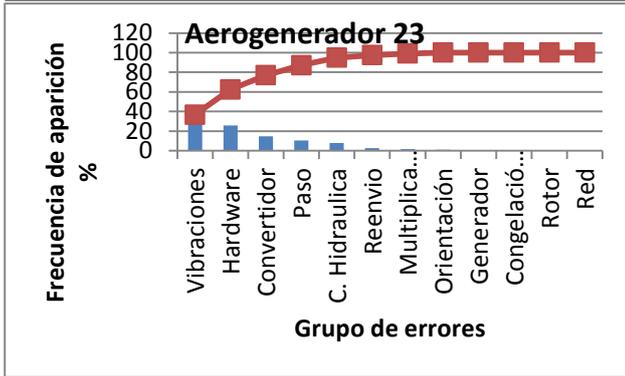
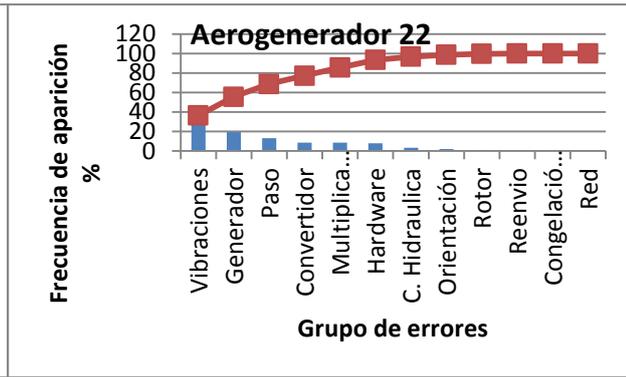
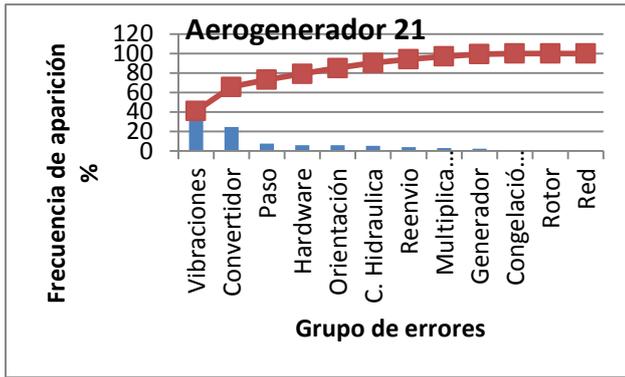


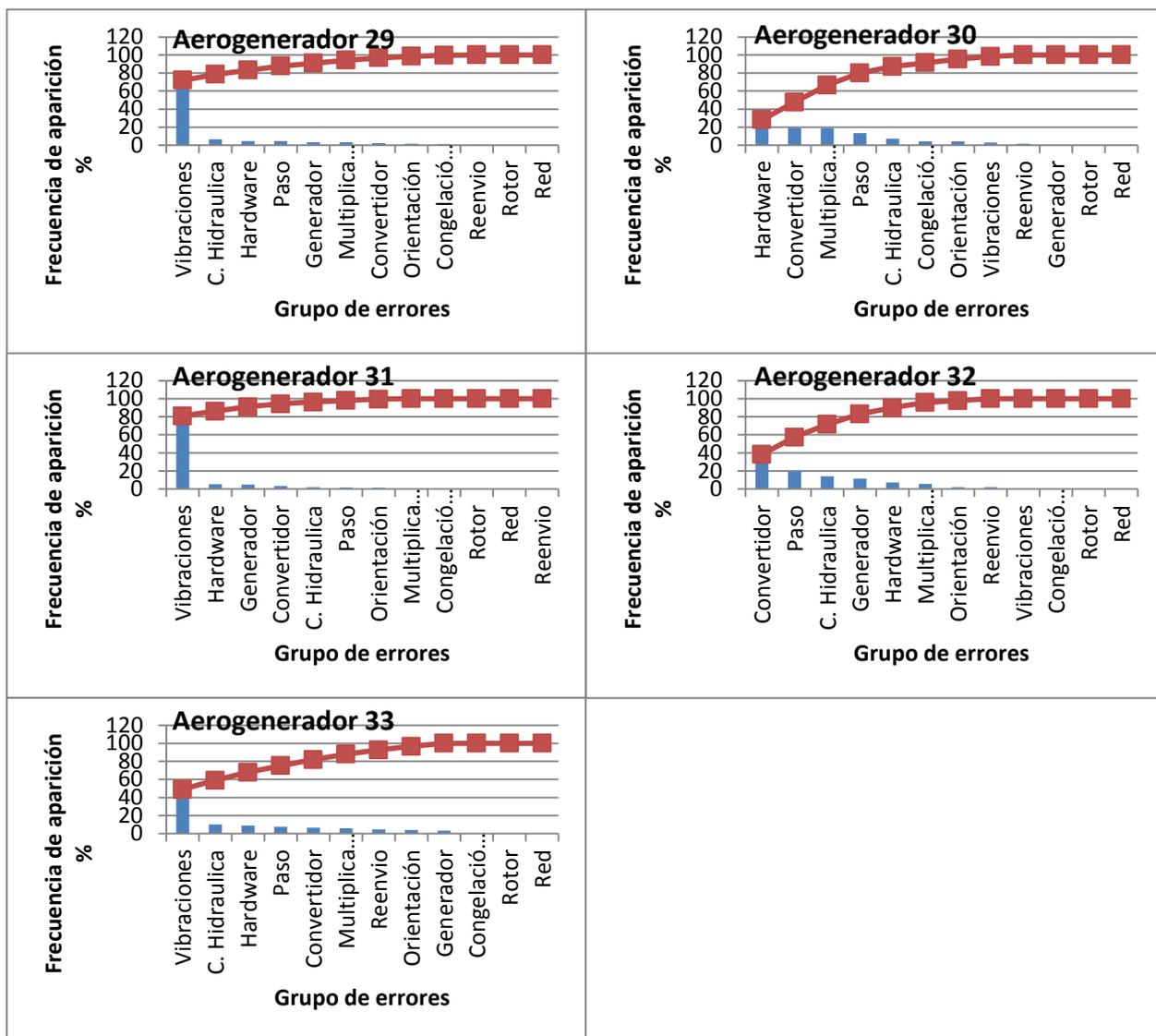
## B.2. PARQUE EÓLICO EL CAYO



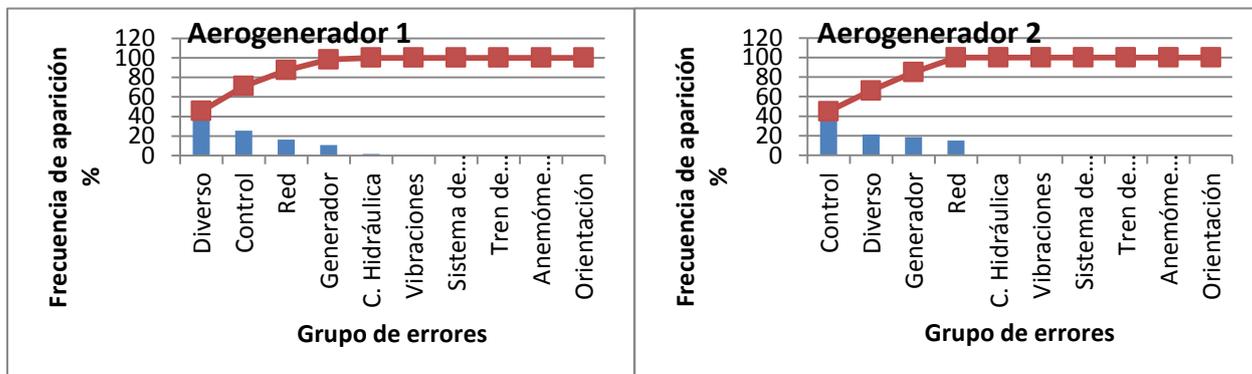


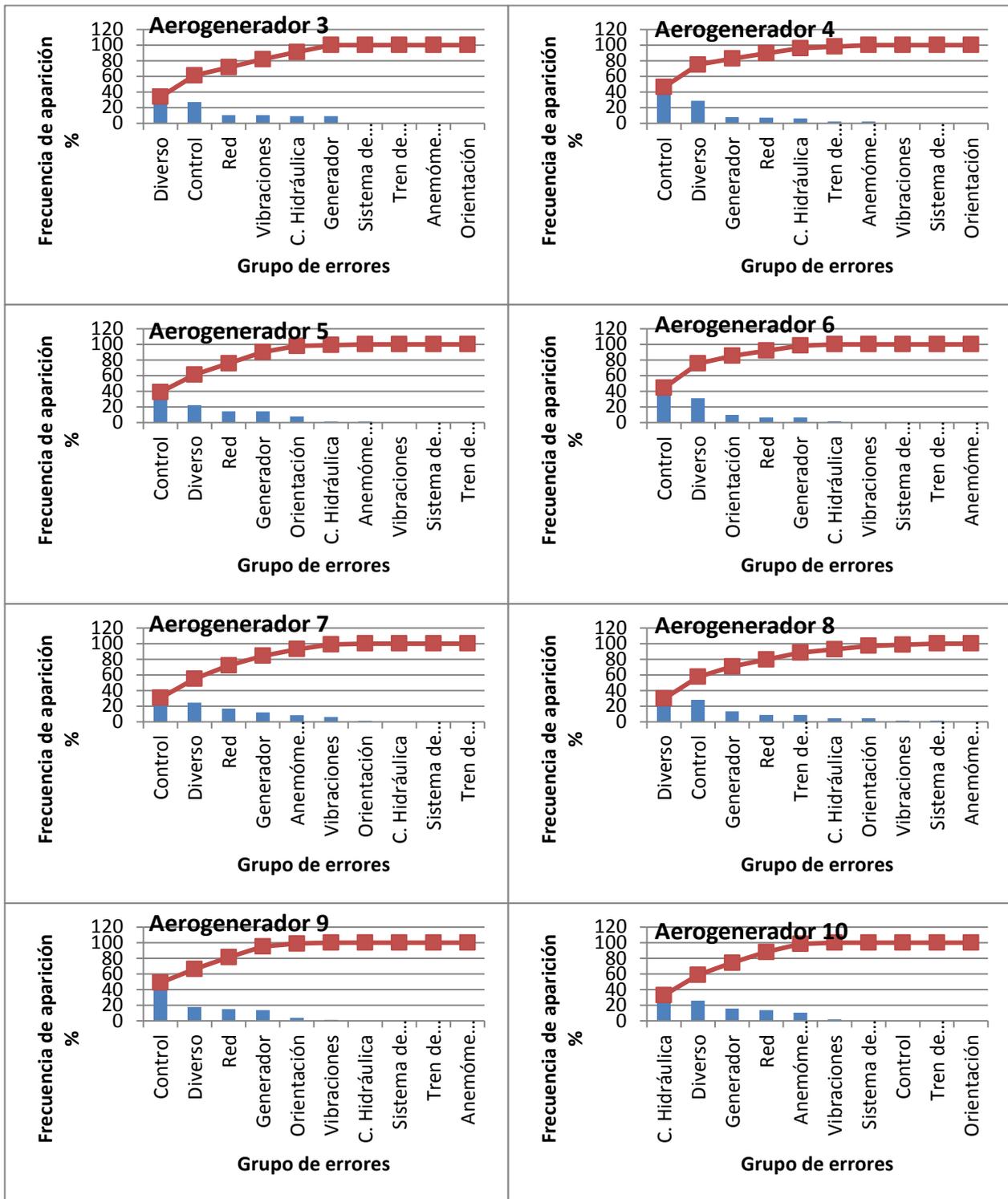


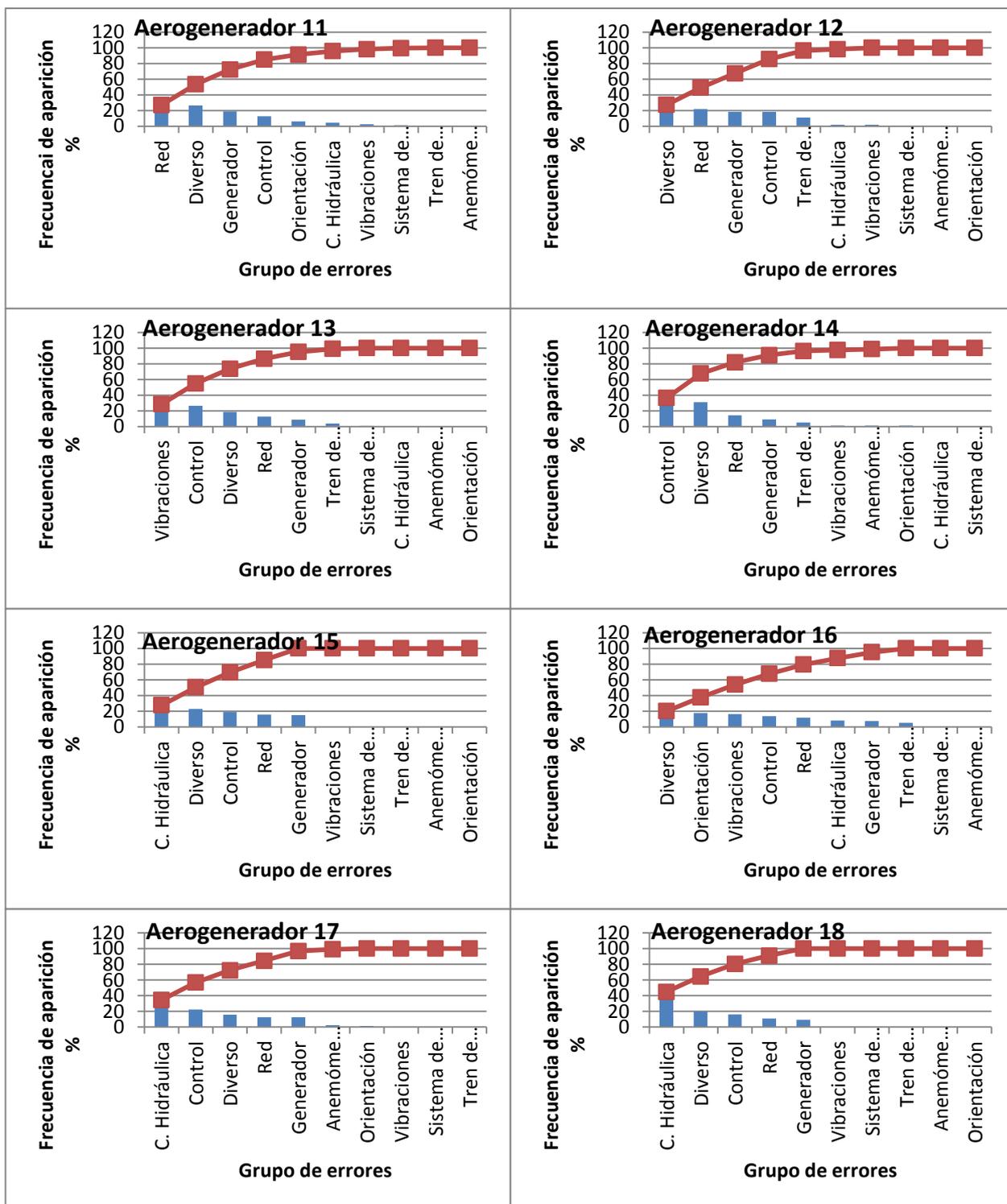


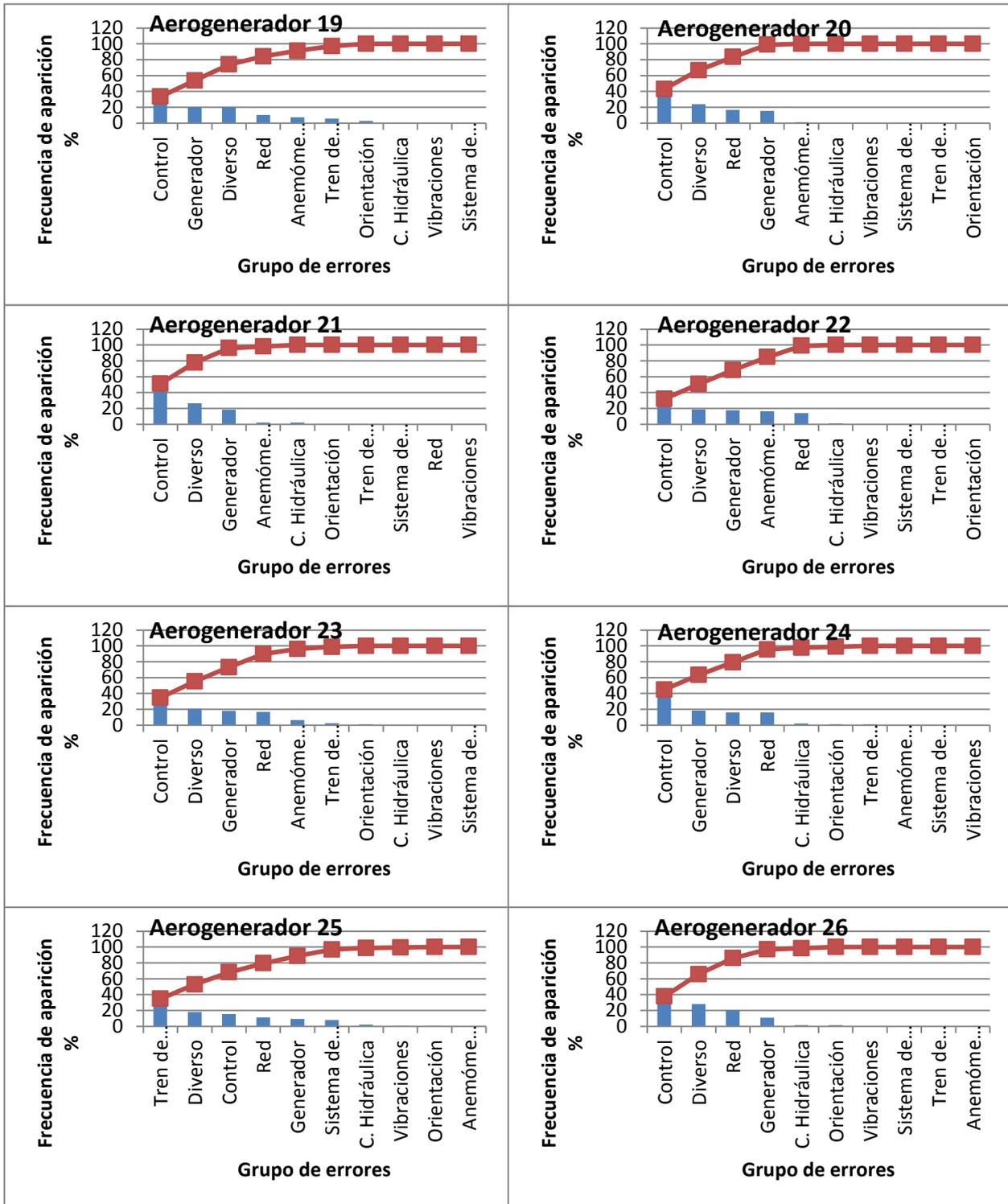


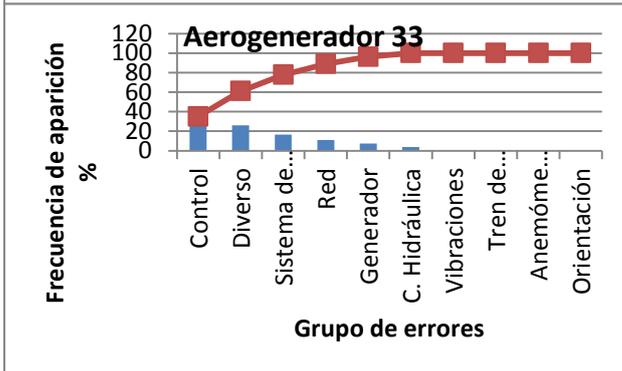
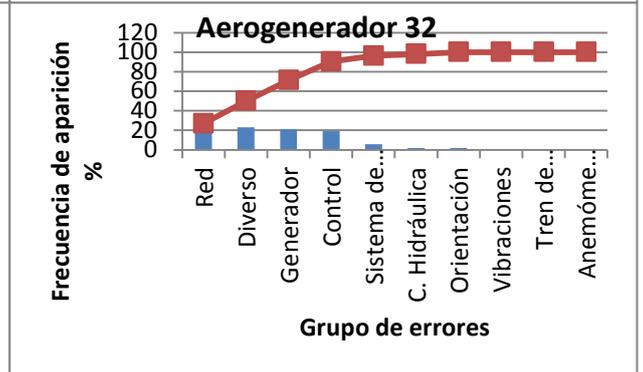
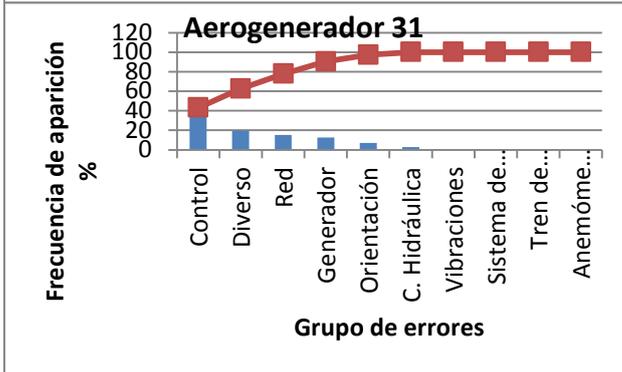
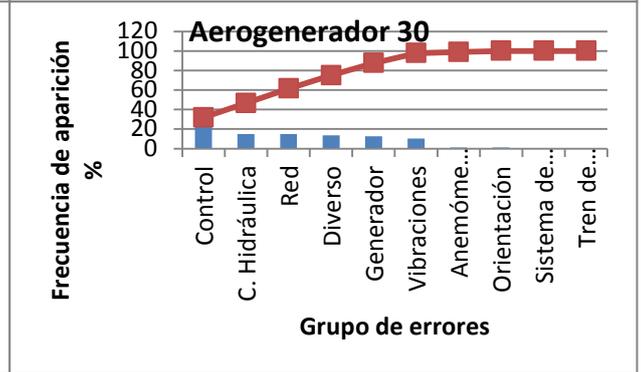
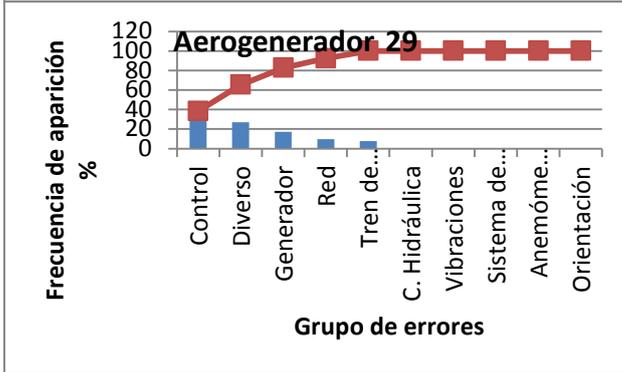
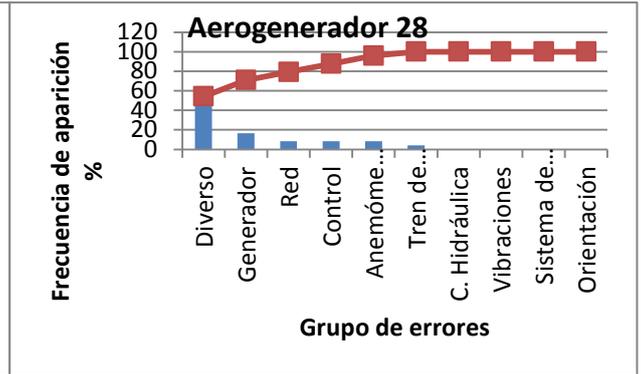
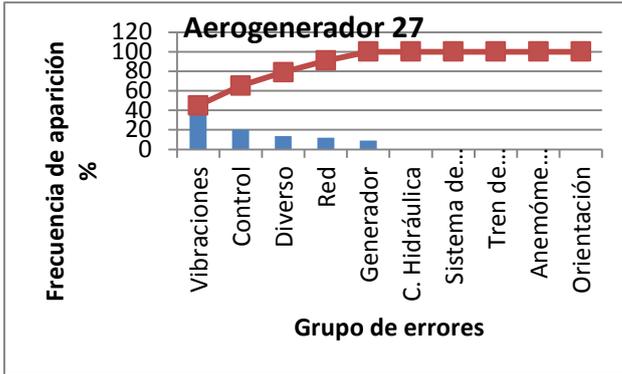
### B.3. PARQUE EÓLICO ONCALA



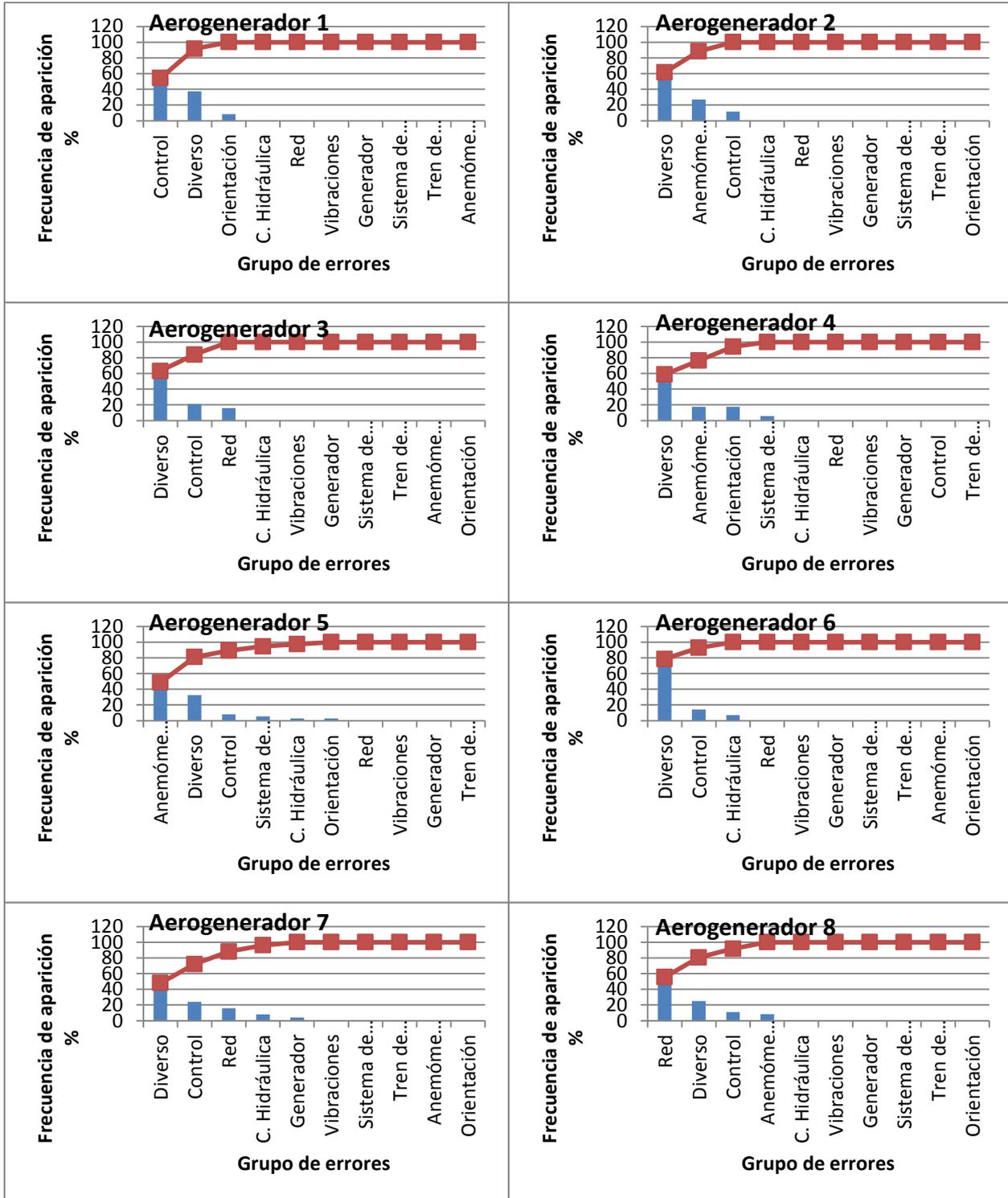


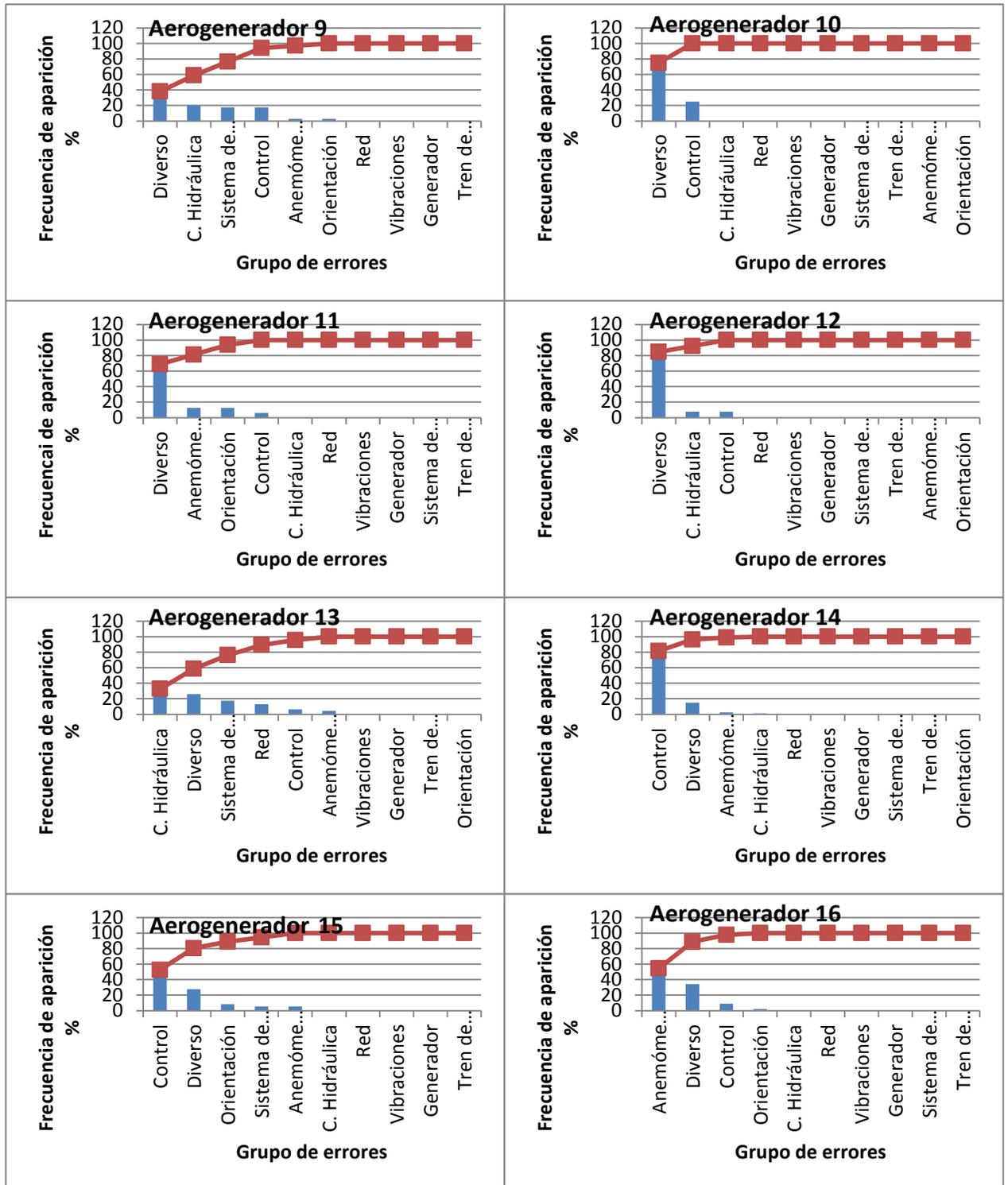


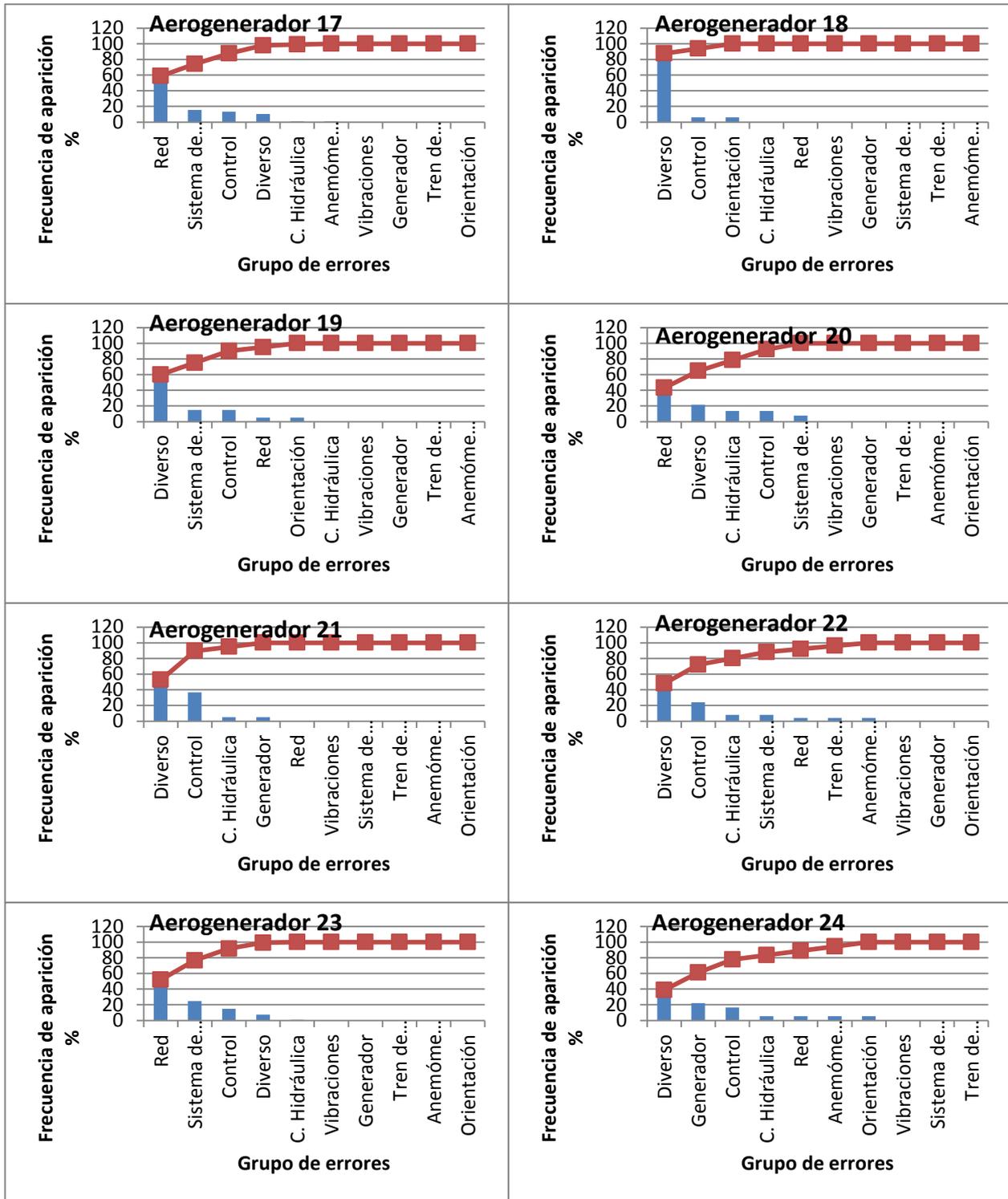


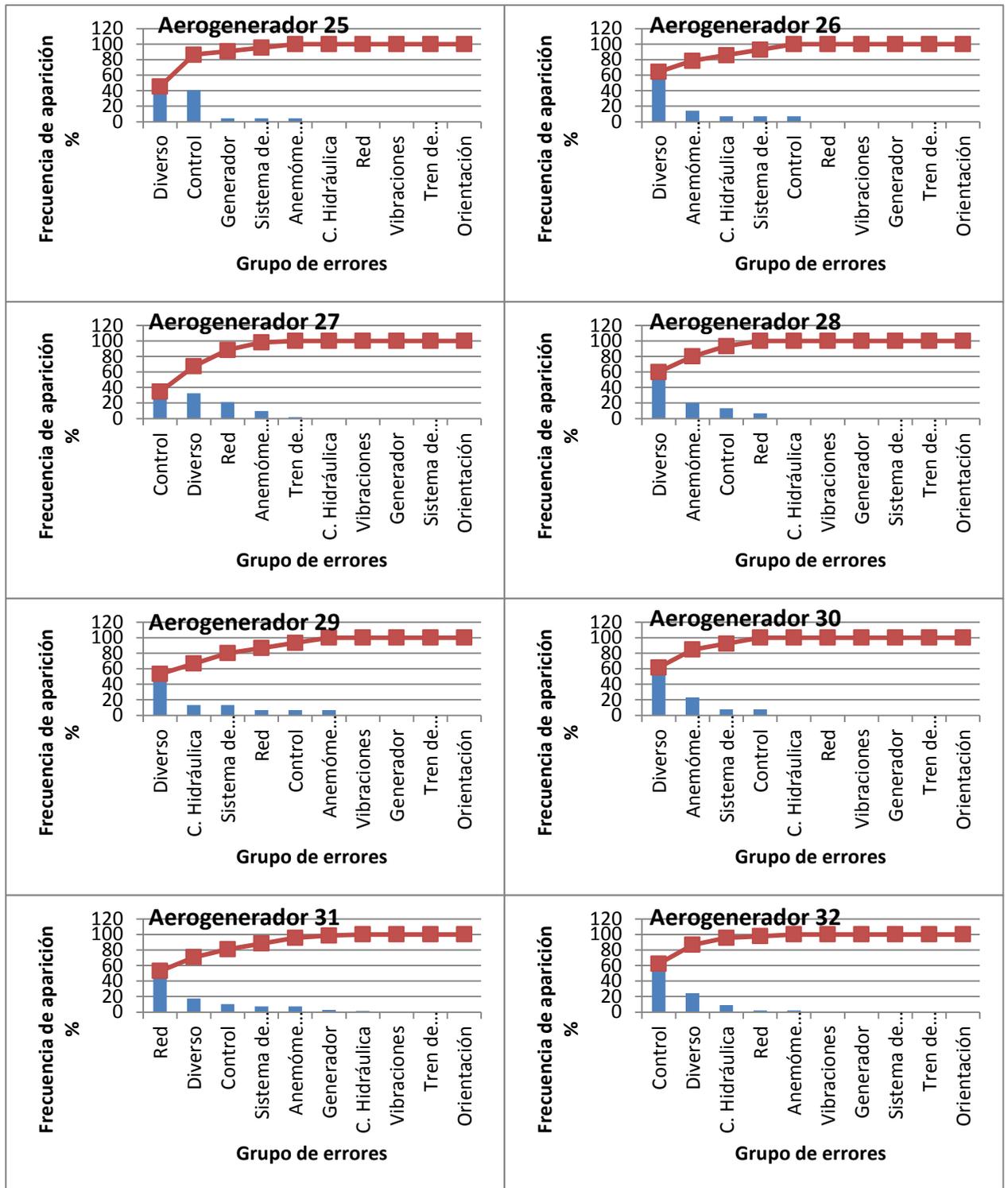


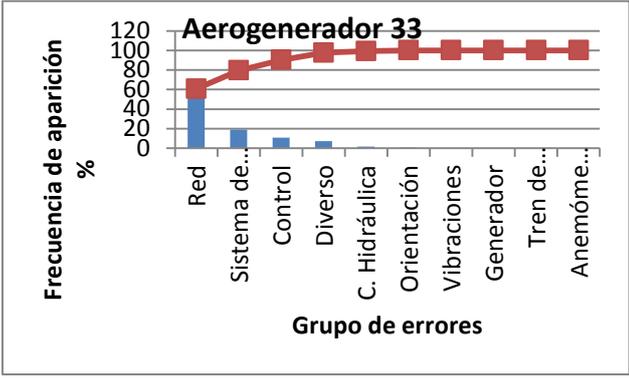
## B4. PARQUE EÓLICO MAGAÑA











# ANEXO C:

---

DISTRIBUCIÓN Y PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE  
CADA GRUPO DE FALLOS DEL ESTUDIO DE FIABILIDAD



## C.1. Parque eólico Castilfrío

### Aerogenerador 1.

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull(3-parámetros)	Weibull(3-parámetros)	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,338129	forma = 0,508508	forma = 0,45897	media = 1228,66
<b>Parámetro 2</b>	escala = 910,211	escala = 460,628	escala = 20,4105	desviación estándar = 443286
<b>Parámetro 3</b>	umbral inferior = 0,566667	umbral inferior = 0,0169444		Escala log: media = 1,22538
<b>P-valor</b>	0,624511	0,892406	0,0852397	0,767023

Hardware	Orientación	Paso
Weibull(3-parámetros)	Exponencial	Weibull
forma = 0,288165	media = 425,312	forma = 0,370332
escala = 301,183		escala = 165,053
umbral inferior = 0,00138889		
0,550931	0,372407	0,687374

### Aerogenerador 2

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Gamma	Gamma	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,23071	forma = 0,447448	forma = 0,360563
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000512549	escala = 0,00185199	escala = 0,000349708
<b>Parámetro 3</b>			
<b>P-valor</b>	0,965871	0,719885	0,365704

Generador	Hardware	Multiplicador
No se ajusta	Weibull (3 parámetros)	Weibull
	forma = 0,557508	forma = 0,196197
	escala = 505,449	escala = 9,01967
	umbral inferior = 2,46389	
	0,983223	0,453615

### Aerogenerador 3

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador	Hardware
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Gamma

<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,39015	forma = 1,3062	forma = 0,375822	forma = 0,285109	forma = 0,26031
<b>Parámetro 2</b>	escala = 145,586	escala = 1117,62	escala = 170,917	escala = 118,375	escala = 0,000830375
<b>Parámetro 3</b>					
<b>Parámetro 4</b>					
<b>P-valor</b>	0,802937	0,937789	0,746124	0,916674	0,535904

<b>Multiplicador</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Weibull	No se ajusta	Lognormal
forma = 0,340056		media = 1,40714E13
escala = 115,432		desviación estándar = 7,04568E25
		Escala log: media = 1,03329
		Escala log: desv. est. = 7,64747
0,217771		0,897207

#### Aerogenerador 4

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>	<b>Hardware</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Gamma	weibull	weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,468712	forma = 0,265299	forma = 0,252543	forma = 0,231661	forma = 0,298261
<b>Parámetro 2</b>	escala = 356,484	escala = 122,212	escala = 0,00038910	escala = 44,2352	escala = 40,7246
<b>P-valor</b>	0,799384	0,49208	0,856543	0,985444	0,568684

<b>Multiplicador</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
weibull	Gamma	Weibull
forma = 0,28305	forma = 0,544095	forma = 0,569926
escala = 377,029	escala = 0,000594642	escala = 1785,79
0,703322	0,996325	0,969468

#### Aerogenerador 5

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Lognormal	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,388121	media = 1873,07	media = 688,193	media = 4468,99
<b>Parámetro 2</b>	escala = 228,549	desviación estándar = 4783,63	desviación estándar = 88371,9	desviación estándar = 725848,
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 6,52639	Escala log: media = 1,6788	Escala log: media = 3,31472
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv.	Escala log: desv.	Escala log: desv.

		est. = 1,42052	est. = 3,11617	est. = 3,19067
<b>P-valor</b>	0,949274	0,990277	0,5276	0,920291

Hardware	Orientación	Paso
Weibull	Weibull	Lognormal
forma = 0,240548	forma = 0,46877	media = 8796,01
escala = 43,3049	escala = 393,802	desviación estándar = 684621,
		Escala log: media = 4,7274
		Escala log: desv. est. = 2,95115
0,60582	0,984419	0,999901

### Aerogenerador 6

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Lognormal	Gamma	No se ajusta	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 2687,73	forma = 0,289001		forma = 0,410239
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 2,28646E6	escala = 0,000581258		escala = 55,4211
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 1,15039			
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,67316			
<b>P-valor</b>	0,894576	0,731864		0,116701

Hardware	Multiplicador	Paso	Reenvío
Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
forma = 0,318174	forma = 0,680486	forma = 0,265704	forma = 0,542197
escala = 33,1679	escala = 992,54	escala = 8,94765	escala = 548,235
	umbral inferior = 624,072		umbral inferior = 0,0777778
0,554936	0,963945	0,37978	0,999887

### Aerogenerador 7

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Hardware
<b>Distribución</b>	Gamma	Exponencial	No se ajusta	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,203047	media = 794,943		media = 1329,68
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00103087			desviación estándar = 885386,
<b>Parámetro 3</b>				Escala log: media = 0,691606
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 3,60585

<b>P-valor</b>	0,347628	0,690623		0,964683
----------------	----------	----------	--	----------

<b>Multiplicador</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Weibull	Lognormal	Gamma
forma = 0,265461	media = 238,882	forma = 0,218596
escala = 60,222	desviación estándar = 11412,5	0,000201085
	Escala log: media = 1,60926	
	Escala log: desv. est. = 2,7809	
0,395849	0,716953	0,982434

### Aerogenerador 8

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	No se ajusta	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,33033	forma = 0,287165		media = 3,13543E8
<b>Parámetro 2</b>	escala = 45,1524	escala = 33,7423		desviación estándar = 6,02751E16
<b>Parámetro 3</b>		umbral inferior = 0,0352778		Escala log: media = 0,489201
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 6,17645
<b>P-valor</b>	0,958263	0,656588		0,826518

<b>Hardware</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Weibull	Gamma	Lognormal	Weibull
forma = 0,299383	forma = 0,243099	media = 926,319	forma = 0,833376
escala = 30,4094	escala = 0,00084356	desviación estándar = 387762	escala = 387,632
		Escala log: media = 0,794289	
		Escala log: desv. est. = 3,47475	
0,556591	0,920542	0,162663	0,986303

### Aerogenerador 9

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>	<b>Hardware</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,296222	forma = 0,277608	forma = 0,399588	forma = 0,210312	forma = 0,329591
<b>Parámetro 2</b>	escala = 152,992	escala = 180,36	escala = 43,8421	escala = 8,46908	escala = 228,5
<b>P-valor</b>	0,700921	0,931588	0,09507	0,154101	0,933537

Multiplicador	Orientación	Paso	Reenvío
Weibull	Exponencial	Weibull	Weibull
forma = 0,385783	media = 1332,27	forma = 0,356683	forma = 0,237181
escala = 92,876		escala = 61,0689	escala = 124,984
0,4738	0,885814	0,916922	0,976102

### Aerogenerador 10

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,319134	forma = 0,393216	forma = 0,45618
<b>Parámetro 2</b>	escala = 128,757	escala = 195,599	escala = 106,655
<b>Parámetro 3</b>			
<b>P-valor</b>	0,884803	0,988507	0,35554

Multiplicador	Orientación	Paso
Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
forma = 0,256391	forma = 0,262828	forma = 0,40945
escala = 1195,95	escala = 74,9617	escala = 353,781
umbral inferior = 16,8089		umbral inferior = 1,92806
0,963986	0,123215	0,999249

### Aerogenerador 11

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,25747	forma = 0,350651	forma = 0,366672	media = 17603,4
<b>Parámetro 2</b>	escala = 56,4461	escala = 267,863	escala = 25,389	desviación estándar = 6,04999E6
<b>Parámetro 3</b>				Escala log: media = 3,93612
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 3,41752
<b>P-valor</b>	0,518508	0,970729	0,183306	0,962883

Hardware	Orientación	Paso	Reenvío
Lognormal	Lognormal	Weibull	Weibull
media = 1846,01	media = 7,13732E7	forma = 0,305387	forma = 0,529107
desviación estándar = 2,04825E6	desviación estándar = 5,21797E15	escala = 40,5688	escala = 824,153
Escala log: media = 0,509072	Escala log: media = -0,0240191		
Escala log: desv. est. = 3,74479	Escala log: desv. est. =		

	6,01788		
0,607314	0,95462	0,356594	0,989818

### Aerogenerador 12

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,328562	media = 48,062	media = 91,6862	forma = 0,285589
<b>Parámetro 2</b>	escala = 21,4007	desviación estándar = 873,157	desviación estándar = 1648,84	escala = 42,7276
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 0,971358	Escala log: media = 1,62738	
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 2,40879	Escala log: desv. est. = 2,40458	
<b>P-valor</b>	0,879016	0,0854923	0,0891949	0,233036

Hardware	Multiplicador	Paso	Reenvío
Weibull	Weibull	Lognormal	Weibull
forma = 0,235998	forma = 0,237355	media = 867,521	forma = 3,84121
escala = 18,3695	escala = 70,2224	desviación estándar = 79124,1	escala = 1638,63
		Escala log: media = 2,25245	
		Escala log: desv. est. = 3,00439	
0,7451	0,685395	0,952095	0,951344

### Aerogenerador 13

	C. Hidráulica	Convertidor	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,402357	forma = 0,211593	forma = 0,197045
<b>Parámetro 2</b>	escala = 140,346	escala = 27,1084	escala = 0,129145
<b>Parámetro 3</b>			umbral inferior = 0,136111
<b>Parámetro 4</b>			
<b>P-valor</b>	0,556078	0,695501	0,574501

Hardware	Multiplicador	Congelación Anemómetro	Paso
Weibull	Exponencial	Exponencial	Lognormal
forma = 0,277121	media = 1194,56	media = 568,681	media = 271,71
escala = 9,30642			desviación estándar = 8257,5
			Escala log: media = 2,19005
			Escala log: desv. est. =

			2,61331
0,162788	0,826378	0,999955	0,902177

#### Aerogenerador 14

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,20636	media = 2935,11	forma = 0,359884	forma = 0,566863
<b>Parámetro 2</b>	escala = 6,97948	desviación estándar = 950190,	escala = 27,916	escala = 1096,06
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 2,20458		umbral inferior = 307,478
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,39998		
<b>P-valor</b>	0,289209	0,0537432	0,139366	0,94976

Hardware	Multiplicador	Congelación Anemómetro	Paso
Weibull	Weibull	Weibull	Weibull
forma = 0,448617	forma = 0,354934	forma = 0,257922	forma = 0,290073
escala = 390,756	escala = 48,9471	escala = 7,92162	escala = 87,9345
0,782973	0,630657	0,279905	0,113623

#### Aerogenerador 15

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador	Hardware
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	No se ajusta	No se ajusta	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,251692	forma = 0,307701			forma = 0,219899
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00065148	escala = 19,3345			escala = 0,000561266
<b>P-valor</b>	0,878846	0,530916			0,39561

Multiplicador	Orientación	Paso	Reenvío
Weibull	Exponencial	Weibull	Weibull
forma = 0,289223	media = 1060,22	forma = 0,327527	forma = 0,200219
escala = 71,8554		escala = 92,7063	escala = 91,3843
0,73751	0,619776	0,991638	0,529513

### Aerogenerador 16

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 803,07	forma = 0,334495	media = 1250,08
<b>Parámetro 2</b>		escala = 27,8543	desviación estándar = 90516,2
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 2,84854
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,92657
<b>P-valor</b>	0,709762	0,815595	0,90267

Generador	Hardware	Orientación	Paso
Exponencial	Weibull	Weibull	No se ajusta
media = 610,006	forma = 0,411943	forma = 0,231825	
	escala = 17,7305	escala = 89,5642	
0,941838	0,943203	0,993646	

### Aerogenerador 17

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Hardware
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,36489	forma = 0,267731	forma = 0,440771	forma = 0,252364
<b>Parámetro 2</b>	escala = 168,316	escala = 194,478	escala = 310,3	escala = 123,911
<b>Parámetro 3</b>				
<b>P-valor</b>	0,825481	0,899339	0,928608	0,772691

Multiplicador	Orientación	Paso	Reenvío
Exponencial	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull
media = 32,4788	forma = 0,703432	forma = 0,241123	forma = 0,579744
	escala = 516,655	escala = 17,4915	escala = 774,079
	umbral inferior = 0,0225		
0,325988	0,820565	0,062786	0,955205

### Aerogenerador 18

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,318457	forma = 0,421816	forma = 0,364859
<b>Parámetro 2</b>	escala = 66,8295	escala = 236,635	escala = 38,9575

<b>Parámetro 3</b>			
<b>Parámetro 4</b>			
<b>P-valor</b>	0,939864	0,787333	0,33356

<b>Hardware</b>	<b>Paso</b>
Lognormal	Weibull
media = 18579,5	forma = 0,265075
desviación estándar = 2,03258E8	escala = 29,9347
Escala log: media = 0,529637	
Escala log: desv. est. = 4,31281	
0,973332	0,184932

### Aerogenerador 19

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Gamma	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,419714	forma = 0,60118	forma = 0,209182	forma = 0,19451
<b>Parámetro 2</b>	escala = 280,512	escala = 359,915	escala = 0,000486085	escala = 8,09083
<b>P-valor</b>	0,511995	0,585865	0,274271	0,193311

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Orientación</b>	<b>Paso</b>
Gamma	Weibull	Gamma	Weibull
forma = 0,241121	forma = 0,222356	forma = 0,195623	forma = 0,649971
escala = 0,000696838	escala = 96,9007	escala = 0,000399236	escala = 499,331
0,716001	0,620631	0,591069	0,96532

### Aerogenerador 20

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	No se ajusta	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,398868	forma = 0,383721		forma = 0,166886
<b>Parámetro 2</b>	escala = 170,065	escala = 62,6362		escala = 3,90683
<b>Parámetro 3</b>				
<b>Parámetro 4</b>				
<b>P-valor</b>	0,992643	0,141275		0,38133

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Orientación</b>	<b>Paso</b>
Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Lognormal

forma = 0,243656	forma = 0,2887	forma = 0,253215	media = 1187,02
escala = 48,2918	escala = 1795,15	escala = 37,1384	desviación estándar = 596827,
	umbral inferior = 0,170833		Escala log: media = 0,859013
			Escala log: desv. est. = 3,52709
0,222255	0,892782	0,105141	0,501605

### Aerogenerador 21

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	No se ajusta	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,23527	forma = 0,261462		media = 339,281
<b>Parámetro 2</b>	escala = 68,1176	escala = 29,1862		desviación estándar = 80499,4
<b>Parámetro 3</b>				Escala log: media = 0,357646
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 3,30732
<b>P-valor</b>	0,0821749	0,269919		0,642909

Hardware	Orientación	Rotor	Paso
Lognormal	Weibull	Weibull	Gamma
media = 22155,2	forma = 0,195762	forma = 0,226188	forma = 0,206445
desviación estándar = 3,81621E7	escala = 17,0635	escala = 42,7626	escala = 0,000715822
Escala log: media = 2,5543			
Escala log: desv. est. = 3,86045			
0,760695	0,76762	0,730718	0,488957

### Aerogenerador 22

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Weibull	Gamma	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,314048	forma = 0,18057	forma = 0,391173
<b>Parámetro 2</b>	escala = 112,197	escala = 0,000635473	escala = 66,6204
<b>P-valor</b>	0,700279	0,216552	0,176758

Generador	Hardware	Orientación	Paso
Weibull	Weibull	Weibull	Weibull
forma = 2,9876	forma = 0,40799	forma = 1,51796	forma = 0,300969

escala = 0,0885069	escala = 90,4154	escala = 2013,25	escala = 96,4502
0,7176	0,688654	0,977153	0,814053

### Aerogenerador 23

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,293984	media = 448,968	forma = 0,304176
<b>Parámetro 2</b>	escala = 27,6657	desviación estándar = 50700,5	escala = 34,1401
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 1,38017	
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,07466	
<b>P-valor</b>	0,711136	0,0762612	0,13954

Generador	Hardware	Paso	Reenvío
No se ajusta	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull
	forma = 0,403131	forma = 0,297447	forma = 0,332485
	escala = 599,745	escala = 134,281	escala = 118,503
	umbral inferior = 0,0825		
	0,743109	0,936809	0,91338

### Aerogenerador 24

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Gamma	Weibull	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,39831	forma = 0,408237	forma = 0,283584	forma = 0,251757
<b>Parámetro 2</b>	escala = 510,83	escala = 0,00175727	escala = 9,32923	escala = 0,00128012
<b>P-valor</b>	0,758056	0,362472	0,0582975	0,460263

Hardware	Multiplicador	Paso	Reenvío
Gamma	Weibull	Gamma	Weibull
forma = 0,236144	forma = 0,463019	forma = 0,274814	forma = 0,689077
escala = 0,000536273	escala = 304,594	escala = 0,0008988	escala = 911,285
0,759091	0,928067	0,608457	0,996026

### Aerogenerador 25

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma =	forma =	forma =	forma =

	1,22105	0,539146	0,609003	0,506044
<b>Parámetro 2</b>	escala = 801,592	escala = 537,724	escala = 187,718	escala = 215,676
<b>Parámetro 3</b>				
<b>Parámetro 4</b>				
<b>P-valor</b>	0,465469	0,970043	0,992956	0,882612

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Paso</b>
Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Weibull
forma = 0,583554	media = 5715,92	forma = 0,271047
escala = 407,186	desviación estándar = 6,20216E6	escala = 56,7879
umbral inferior = 29,3583	Escala log: media = 1,66161	
	Escala log: desv. est. = 3,73882	
0,999633	0,808181	0,663544

### Aerogenerador 26

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,233051	forma = 0,444716	media = 4044,05
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000373179	escala = 66,5245	desviación estándar = 122495,
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 4,89363
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,61204
<b>P-valor</b>	0,890973	0,164511	0,95179

<b>Generador</b>	<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Paso</b>
Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull
forma = 0,702581	forma = 0,260806	forma = 0,264749	forma = 0,617332
escala = 565,069	escala = 89,4687	escala = 74,3592	escala = 404,746
umbral inferior = 0,00277778		umbral inferior = 0,0111111	
0,524349	0,595311	0,843554	0,728458

### Aerogenerador 27

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,517691	media = 17461,4	media = 11,2793

<b>Parámetro 2</b>	escala = 520,186	desviación estándar = 4,25742E7	desviación estándar = 70,1854
<b>Parámetro 3</b>	umbral inferior = 0,148333	Escala log: media = 1,96874	Escala log: media = 0,582055
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,94943	Escala log: desv. est. = 1,91881
<b>P-valor</b>	0,822213	0,0947988	0,188259

<b>Generador</b>	<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Orientación</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
forma = 0,284659	forma = 0,276663	forma = 0,345135	forma = 0,711522	forma = 0,825598	forma = 0,2558
escala = 97,0918	escala = 256,056	escala = 120,17	escala = 809,962	escala = 422,155	escala = 469,959
	umbral inferior = 0,0127778				umbral inferior = 0,115556
0,926626	0,5059	0,736922	0,991681	0,984495	0,837511

### Aerogenerador 28

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,221582	forma = 0,257928	forma = 0,438474
<b>Parámetro 2</b>	escala = 18,9327	escala = 51,3356	escala = 442,411
<b>Parámetro 3</b>			
<b>Parámetro 4</b>			
<b>P-valor</b>	0,259477	0,628032	0,652502

<b>Generador</b>	<b>Hardware</b>	<b>Orientación</b>	<b>Paso</b>
Lognormal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull
media = 446199,	forma = 0,266101	forma = 0,669119	forma = 0,337762
desviación estándar = 1,21042E10	escala = 42,0401	escala = 278,884	escala = 235,875
Escala log: media = 2,80023		umbral inferior = 2,68611	
Escala log: desv. est. = 4,51847			
0,932073	0,855618	0,999381	0,575339

### Aerogenerador 29

	C. Hidráulica	Convertidor	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	No se ajusta	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,208868		media = 6876,28
<b>Parámetro 2</b>	escala = 14,9478		desviación estándar = 607515,
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 4,35447
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,99378
<b>P-valor</b>	0,30348		0,999741

Hardware	Multiplicador	Paso
Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Weibull
forma = 0,649744	media = 559,172	forma = 0,298721
escala = 521,403	desviación estándar = 14939,0	escala = 38,6692
umbral inferior = 0,931667	Escala log: media = 3,04048	
	Escala log: desv. est. = 2,56358	
0,905783	0,588907	0,451434

### Aerogenerador 30

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,237943	forma = 0,396686	media = 316,653
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00106796	escala = 80,9927	desviación estándar = 6195,71
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 2,7827
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,43931
<b>P-valor</b>	0,64631	0,18628	0,942297

Hardware	Multiplicador	Paso	Reenvío
Weibull	Weibull	Weibull	Exponencial
forma = 0,303631	forma = 0,321144	forma = 0,272237	media = 816,91
escala = 27,5047	escala = 17,542	escala = 10,739	
0,526956	0,529678	0,0699961	0,892824

### Aerogenerador 31

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,301375	forma = 0,295555	media = 516,75	forma = 0,199408

<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00218115	escala = 26,2539	desviación estándar = 13391,3	escala = 131,557
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 2,99201	
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,55169	
<b>P-valor</b>	0,717416	0,319663	0,94378	0,683443

Hardware	Multiplicador	Orientación	Paso
Weibull	Exponencial	Weibull	no se ajusta
forma = 0,268539	media = 1281,64	forma = 0,246485	
escala = 16,4845		escala = 15,7917	
0,240169	0,53249	0,118006	

### Aerogenerador 32

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Gamma	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,275129	media = 509,95	forma = 0,359841
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,0007279	desviación estándar = 49998,6	escala = 85,3765
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 1,64882	
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,02836	
<b>P-valor</b>	0,967456	0,223655	0,245397

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Orientación</b>	<b>Paso</b>
Gamma	Weibull	Weibull	Lognormal
forma = 0,370862	forma = 0,248476	forma = 0,248476	media = 17229,2
escala = 0,000658455	escala = 43,57	escala = 43,57	desviación estándar = 2,71086E8
			Escala log: media = 0,0907738
			Escala log: desv. est. = 4,39627
0,899697	0,555277	0,555277	0,941485

### Aerogenerador 33

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull	No se ajusta
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,391345	forma =	forma =	

		0,329878	0,361353	
<b>Parámetro 2</b>	escala = 366,755	escala = 66,3961	escala = 99,4224	
<b>Parámetro 3</b>	umbral inferior = 0,00722222			
<b>Parámetro 4</b>				
<b>P-valor</b>	0,657704	0,290598	0,879061	

Hardware	Multiplicador	Orientación	Paso
Weibull	Lognormal	Weibull	Weibull
forma = 0,288011	media = 33462,4	forma = 1,58448	forma = 0,231497
escala = 50,3644	desviación estándar = 7,03142E9	escala = 1436,73	escala = 14,6318
	Escala log: media = -1,8373		
	Escala log: desv. est. = 4,95085		
0,051282	0,415495	0,997846	0,199543

## C.1. Parque eólico El Cayo

### Aerogenerador 1.

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Hardware
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,198466	forma = 0,436607	forma = 0,634514	media = 1031,93
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000283129	escala = 203,897	escala = 831,706	
<b>Parámetro 3</b>			umbral inferior = 8,77639	
<b>P-valor</b>	0,771641	0,973525	0,629654	0,53562

Multiplicador	Orientación	Rotor	Paso	Reenvío
No se ajusta	Exponencial	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull
	media = 739,641	forma = 4,50243	forma = 0,562289	forma = 0,182795
		escala = 1960,5	escala = 1420,59	escala = 13,7822
			umbral inferior = 0,00138889	
	0,865509	0,997583	0,963945	0,32175

### Aerogenerador 2

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Lognormal	Gamma	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 61254,9	forma = 0,351917	forma = 0,458693	media = 11359,2
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 1,33431E9	escala = 0,000701176	escala = 25,3324	desviación estándar = 5,4654E6
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 1,03392			Escala log: media = 3,16161
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 4,46965			Escala log: desv. est. = 3,51459
<b>P-valor</b>	0,122372	0,609957	0,950721	0,856113

Hardware	Multiplicador	Orientación	Rotor	Reenvío
Weibull	Weibull	Gamma	Weibull	Weibull
forma = 0,317335	forma = 0,233457	forma = 0,148734	forma = 0,496043	forma = 2,1766
escala = 68,2837	escala = 51,4347	escala = 0,000300985	escala = 361,553	escala = 1819,69
0,513499	0,737802	0,857253	0,965801	0,987817

### Aerogenerador 3

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Lognormal	Lognormal	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 215,739	media = 4816,71	media = 689,094
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 57070,0	desviación estándar = 2,84814E6	desviación estándar = 53905,5
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = -0,2039	Escala log: media = 2,09751	Escala log: media = 2,17569
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,34005	Escala log: desv. est. = 3,57277	Escala log: desv. est. = 2,95286
<b>P-valor</b>	0,800835	0,5972	0,999945

Hardware	Rotor	Paso
Gamma	Lognormal	Gamma
forma = 0,184443	media = 3,54096E6	forma = 0,160975
escala = 0,00021912	desviación estándar = 1,13176E13	escala = 0,000208573
	Escala log: media = 0,102436	
	Escala log: desv. est. = 5,47311	
0,553813	0,890749	0,935523

#### Aerogenerador 4

	C. Hidráulica	Convertidor
<b>Distribución</b>	Weibull (3-Parámetros)	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,32605	forma = 0,361058
<b>Parámetro 2</b>	escala = 564,268	escala = 323,01
<b>Parámetro 3</b>	umbral inferior = 0,0597222	umbral inferior = 3,81306
<b>P-valor</b>	0,680194	0,980007

Generador	Hardware	Paso
Weibull	Gamma	Weibull
forma = 0,269021	forma = 0,261715	forma = 0,321726
escala = 153,012	escala = 0,000317378	escala = 122,677
0,914205	0,523779	0,792091

#### Aerogenerador 5

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,241393	media = 15109,9	forma = 0,531467	forma = 0,28312
<b>Parámetro 2</b>	escala = 90,0995	desviación estándar = 6,93388E6	escala = 42,9211	escala = 17,3829
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 3,49428		
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,50109		
<b>P-valor</b>	0,330628	0,990371	0,999291	0,475843

Hardware	Orientación	Rotor	Paso
Weibull	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Lognormal
forma = 0,338186	forma = 0,895794	forma = 0,610546	media = 6722,96
escala = 127,705	escala = 466,482	escala = 1130,36	desviación estándar = 17825,9
		umbral inferior = 0,419722	Escala log: media = 7,77166
			Escala log: desv. est. = 1,44334
0,732548	0,998735	0,980547	0,999245

#### Aerogenerador 6

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
--	---------------	-------------	-------------

<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 1588,76	forma = 0,470105	forma = 0,671265
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 631,033	escala = 377,724	escala = 0,00662713
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 7,29746		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,382733		
<b>P-valor</b>	0,999325	0,92415	0,401548

Hardware	Multiplicador	Orientación	Rotor	Paso
Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Weibull	Weibull	Lognormal
forma = 0,320866	media = 588,943	forma = 0,362087	forma = 0,274782	media = 2446,54
escala = 275,986	desviación estándar = 5483,24	escala = 215,746	escala = 175,845	desviación estándar = 1,30468E6
umbral inferior = 0,105556	Escala log: media = 4,14147			Escala log: media = 1,52339
	Escala log: desv. est. = 2,11512			Escala log: desv. est. = 3,54374
0,946052	0,984314	0,650553	0,781868	0,791552

### Aerogenerador 7

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Weibull (3-Parámetros)	Gamma	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,461968	forma = 0,272677	media = 255163,
<b>Parámetro 2</b>	escala = 485,873	escala = 0,000907918	desviación estándar = 6,72551E8
<b>Parámetro 3</b>	umbral inferior = 0,0252778		Escala log: media = 4,57273
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 3,96911
<b>P-valor</b>	0,219626	0,407418	0,999646

Generador	Hardware	Orientación	Paso
Weibull	Weibull	Lognormal	No se ajusta
forma = 0,409218	forma = 0,509767	media = 1923,84	
escala = 86,8804	escala = 129,655	desviación estándar = 1255,11	
		Escala log: media = 7,38478	
		Escala log: desv. est. = 0,595491	

0,453294	0,924709	0,999245	
----------	----------	----------	--

### Aerogenerador 8

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Hardware
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 1,59751	forma = 0,399503	forma = 0,253608	forma = 0,210804
<b>Parámetro 2</b>	escala = 1585,61	escala = 112,296	escala = 52,2257	escala = 99,1831
<b>Parámetro 3</b>				
<b>Parámetro 4</b>				
<b>P-valor</b>	0,965781	0,150449	0,373922	0,732417

Congelación Anemómetro	Orientación	Rotor	Paso
Lognormal	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	No se ajusta
media = 4,85287	forma = 0,284811	forma = 0,16483	
desviación estándar = 41,6895	escala = 424,612	escala = 7,64602	
Escala log: media = -0,577839	umbral inferior = 0,135		
Escala log: desv. est. = 2,07721			
0,999245	0,892787	0,325135	

### Aerogenerador 9

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 3,92069E10	forma = 1,29125	media = 59992,1
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 4,98956E20	escala = 962,557	desviación estándar = 3,29665E7
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 1,12519		Escala log: media = 4,69293
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 6,82157		Escala log: desv. est. = 3,55219
<b>P-valor</b>	0,941791	0,97231	0,941344

Hardware	Orientación	Paso
Gamma	Exponencial	Gamma
forma = 0,19987	media = 401,402	forma = 0,185805
escala = 0,000468892		escala = 0,000160576
0,459186	0,964137	0,761813

### Aerogenerador 10

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador	Hardware
<b>Distribución</b>	Lognormal	Gamma	Weibull	Weibull	No se ajusta
<b>Parámetro 1</b>	media = 157,338	forma = 0,414028	forma = 0,456444	forma = 0,229186	
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 7904,91	escala = 0,00156631	escala = 490,84	escala = 30,3147	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 1,14136				
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 2,79894				
<b>P-valor</b>	0,0613809	0,93641	0,945156	0,541746	

Multiplicador	Orientación	Rotor	Paso	Reenvío
Gamma	Weibull	Lognormal	No se ajusta	Weibull
forma = 0,341376	forma = 0,281107	media = 26166,1		forma = 0,258742
escala = 0,00153431	escala = 99,3123	desviación estándar = 2,0029E9		escala = 60,645
		Escala log: media = -1,07342		
		Escala log: desv. est. = 4,7425		
0,957927	0,444457	0,210789		0,829175

### Aerogenerador 11

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	No se ajusta	No se ajusta
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,193639	forma = 0,466836		
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000255911	escala = 406,926		
<b>Parámetro 3</b>				
<b>Parámetro 4</b>				
<b>P-valor</b>	0,595426	0,876891		

Hardware	Orientación	Paso
Weibull	Lognormal	Lognormal

forma = 0,250401	media = 1155,1	media = 1,7526E6
escala = 93,9306	desviación estándar = 13892,7	desviación estándar = 3,2779E11
	Escala log: media = 4,56132	Escala log: media = 2,23758
	Escala log: desv. est. = 2,23187	Escala log: desv. est. = 4,92728
0,981079	0,999245	0,999245

### Aerogenerador 12

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,244482	forma = 3,21664	forma = 1,59892	forma = 0,249861
<b>Parámetro 2</b>	escala = 51,3	escala = 2279,56	escala = 16,0002	escala = 29,8007
<b>Parámetro 3</b>		umbral inferior = -828,836		
<b>Parámetro 4</b>				
<b>P-valor</b>	0,300809	0,893006	0,898164	0,626564

Hardware	Multiplicador	Orientación	Rotor	Paso	Reenvío
Gamma	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Lognormal	Lognormal
forma = 0,275028	forma = 0,270921	forma = 0,264742	media = 3,13671E6	media = 1902,76	media = 1,90355E9
escala = 0,00149863	escala = 70,7444	escala = 371,969	desviación estándar = 1,84216E13	desviación estándar = 724,356	desviación estándar = 3,65244E16
		umbral inferior = 0,159722	Escala log: media = -0,627176	Escala log: media = 7,48339	Escala log: media = 4,59721
			Escala log: desv. est. = 5,58316	Escala log: desv. est. = 0,367882	Escala log: desv. est. = 5,79133
0,804675	0,807819	0,917811	0,695917	0,999245	0,999245

### Aerogenerador 13

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador	Hardware
<b>Distribución</b>	Exponencial	Gamma	Weibull	Gamma	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 541,337	forma = 0,236837	forma = 0,310348	forma = 0,608048	forma = 0,476033
<b>Parámetro 2</b>		escala = 0,000294916	escala = 44,8697	escala = 0,0144669	escala = 159,506
<b>Parámetro 3</b>					
<b>Parámetro 4</b>					

<b>P-valor</b>	0,51095	0,652866	0,184568	0,807938	0,992321
----------------	---------	----------	----------	----------	----------

<b>Congelación Anemómetros</b>	<b>Orientación</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Lognormal
forma = 0,318644	forma = 0,418815	forma = 0,245877	forma = 0,488652	media = 3820,89
escala = 312,614	escala = 520,29	escala = 728,942	escala = 325,677	desviación estándar = 2414,82
	umbral inferior = 0,137222	umbral inferior = 0,00833333		Escala log: media = 8,08021
				Escala log: desv. est. = 0,579712
0,999503	0,984159	0,732108	0,818086	0,999245

#### Aerogenerador 14

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,26503	forma = 0,326838	forma = 0,292787
<b>Parámetro 2</b>	escala = 290,295	escala = 51,2925	escala = 16,0813
<b>Parámetro 3</b>			
<b>Parámetro 4</b>			
<b>P-valor</b>	0,804889	0,560424	0,0624618

<b>Generador</b>	<b>Hardware</b>	<b>Rotor</b>
Lognormal	Lognormal	Weibull
media = 16367,7	media = 1232,42	forma = 0,199106
desviación estándar = 4,67452E7	desviación estándar = 327,328	escala = 31,0956
Escala log: media = 1,74591	Escala log: media = 7,08265	
Escala log: desv. est. = 3,98928	Escala log: desv. est.=0,261086	
0,524094	0,979915	0,60207

#### Aerogenerador 15

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	No se ajusta	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,321152	media = 1298,34		media = 3265,22
<b>Parámetro 2</b>	escala = 68,7396	desviación estándar = 336522,		desviación estándar = 5,24208E6
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media =		Escala log: media =

		1,61125		0,709937
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,33394		Escala log: desv. est. = 3,84217
<b>P-valor</b>	0,229918	0,505168		0,847484

Hardware	Orientación	Rotor	Paso	Reenvío
No se ajusta	Weibull	Lognormal	Weibull (3-Parámetros)	Weibull
	forma = 0,300467	media = 903744,	forma = 0,34101	forma = 0,224176
	escala = 72,3249	desviación estándar = 2,67045E11	escala = 200,105	escala = 110,518
		Escala log: media = 1,11792	umbral inferior = 0,174444	
		Escala log: desv. est. = 5,01924		
	0,720112	0,97136	0,616881	0,545634

### Aerogenerador 16

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 3,35003	forma = 0,481757	media = 34,3072
<b>Parámetro 2</b>	escala = 1748,92	escala = 498,592	desviación estándar = 283,483
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 1,41629
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,05867
<b>P-valor</b>	0,998828	0,755759	0,251963

Multiplicador	Orientación	Rotor	Paso
Lognormal	Lognormal	Weibull (3-Parámetros)	Exponencial
media = 3,18376E11	media = 1,27581E6	forma = 0,452664	media = 1787,34
desviación estándar = 3,39139E21	desviación estándar = 4,60177E11	escala = 592,612	
Escala log: media = 3,39747	Escala log: media = 1,26331	umbral inferior = 0,0197222	
Escala log: desv. est. = 6,79544	Escala log: desv. est. = 5,05881		
0,999245	0,678787	0,58019	0,809865

### Aerogenerador 17

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador	Hardware
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull

<b>Parámetro 1</b>	media = 2015,69	forma = 0,370969	forma = 0,282619	forma = 0,276995	forma = 0,41162
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 2,65619E6	escala = 41,3213	escala = 19,3617	escala = 39,1627	escala = 54,6462
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 0,425028		umbral inferior = 0,163889		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,79043				
<b>P-valor</b>	0,641463	0,183282	0,224235	0,587158	0,73914

<b>Multiplicador</b>	<b>Orientación</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Lognormal	Exponencial	Gamma	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
media = 881,71	media = 644,503	forma = 0,233785	forma = 0,267164	forma = 0,528615
desviación estándar = 209,285		escala = 0,000917845	escala = 7,96599	escala = 1487,33
Escala log: media = 6,75446				umbral inferior = 0,153611
Escala log: desv. est. = 0,234118				
0,999245	0,989748	0,818009	0,152476	0,963945

### Aerogenerador 18

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Weibull (3-Parámetros)	Weibull (3-Parámetros)	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,356848	forma = 0,2337	media = 7,85016
<b>Parámetro 2</b>	escala = 423,277	escala = 188,113	desviación estándar = 4,44842
<b>Parámetro 3</b>	umbral inferior = 0,00138889	umbral inferior = 0,00138889	Escala log: media = 1,9213
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 0,527705
<b>P-valor</b>	0,887776	0,751015	0,999245

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Congelación Anemómetro</b>	<b>Orientación</b>	<b>Paso</b>
Gamma	Weibull	No se ajusta	Lognormal	Weibull
forma = 0,297278	forma = 0,474864		media = 6386,2	forma = 0,233863
escala =	escala =		desviación estándar =	escala =

0,000651333	485,271		18958,4	24,8627
			Escala log: media = 7,62005	
			Escala log: desv. est. = 1,51119	
0,762643	0,891041		0,999245	0,570941

### Aerogenerador 19

	Vibraciones	Generador	Hardware
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,529578	media = 4065,69	forma = 0,525825
<b>Parámetro 2</b>	escala = 6,64165	desviación estándar = 2,41123E6	escala = 497,664
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 1,92503	umbral inferior = 869,686
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,5736	
<b>P-valor</b>	0,738726	0,99754	0,892779

Multiplicador	Orientación	Rotor	Paso
Exponencial	Exponencial	Weibull	No se ajusta
media = 930,788	media = 636,236	forma = 0,183716	
		escala = 78,6124	
0,9202	0,993627	0,753368	

### Aerogenerador 20

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Hardware
<b>Distribución</b>	Gamma	Gamma	Lognormal	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,345301	forma = 0,202975	media = 676,196	forma = 0,542896
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000496591	escala = 0,000521125	desviación estándar = 127841,	escala = 384,814
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 1,27441	umbral inferior = 0,00138889
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 3,23792	
<b>P-valor</b>	0,859311	0,837756	0,684586	0,713098

Hardware	Multiplicador	Congelación	Orientación	Paso
----------	---------------	-------------	-------------	------

		<b>Anemómetro</b>		
Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Lognormal	Gamma	Weibull
forma = 0,542896	media = 35630,0	media = 29986,5	forma = 0,54421	forma = 0,216985
escala = 384,814	desviación estándar = 3,82046E7	desviación estándar = 3,17213E7	escala = 0,000508647	escala = 4,08483
umbral inferior = 0,00138889	Escala log: media = 3,50342	Escala log: media = 3,34451		
	Escala log: desv. est. = 3,73565	Escala log: desv. est. = 3,73202		
0,713098	0,988808	0,999245	0,922791	0,423007

### Aerogenerador 21

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 44779,7	forma = 0,352007	forma = 0,440957	media = 689,345
<b>Parámetro 2</b>	escala = 2,29148E7	escala = 55,4967	escala = 58,3485	desviación estándar = 80659,1
<b>Parámetro 3</b>	umbral inferior = - 2,2913E7			Escala log: media = 1,77346
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 3,08619
<b>P-valor</b>	0,936006	0,315309	0,754344	0,999245

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Orientación</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Weibull	No se ajusta	Weibull	Exponencial	Exponencial	Exponencial
forma = 0,437663		forma = 0,915178	media = 1095,16	media = 691,281	media = 2126,14
escala = 261,791		escala = 649,257			
0,982073		0,964195	0,831607	0,21111	0,963946

### Aerogenerador 22

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Exponencial	Lognormal	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,694666	media = 463,217	media = 135,217	forma = 0,30194

<b>Parámetro 2</b>	escala = 1025,56		desviación estándar = 3433,69	escala = 0,00157661
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 1,6716	
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,54373	
<b>P-valor</b>	0,64981	0,679545	0,443928	0,856414

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Orientación</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>
Gamma	Lognormal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	No se ajusta
forma = 0,324751	media = 1310,95	forma = 8,42423	forma = 0,257477	
escala = 0,000644343	desviación estándar = 1,60417E6	escala = 1209,09	escala = 25,6251	
	Escala log: media = 0,068891		umbral inferior = 0,0211111	
	Escala log: desv. est. = 3,77084			
0,952044	0,982001	0,668679	0,825819	

### Aerogenerador 23

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull (3-Parámetros)	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 907,141	forma = 0,32591	media = 88,1161
<b>Parámetro 2</b>		escala = 368,209	desviación estándar = 3579,04
<b>Parámetro 3</b>		umbral inferior = 0,00138889	Escala log: media = 0,774157
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,72195
<b>P-valor</b>	0,541894	0,706971	0,19792

<b>Hardware</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Weibull	Weibull	Lognormal
forma = 0,381639	forma = 0,303096	media = 2124,06
escala = 61,7261	escala = 77,557	desviación estándar = 119,754
		Escala log: media = 7,6595
		Escala log: desv. est. = 0,0563352
0,945412	0,920994	0,999245

### Aerogenerador 24

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Hardware
<b>Distribución</b>	Gamma	Gamma	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,366374	forma = 0,243627	media = 46,8185	forma = 0,354272
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000373126	escala = 0,000393035	desviación estándar = 1121,32	escala = 166,435
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 0,669421	
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,52066	
<b>P-valor</b>	0,888372	0,608971	0,056456	0,965409

Multiplificador	Congelación Anemómetro	Orientación	Rotor	Paso	Reenvío
Weibull	Weibull	Weibull	Lognormal	Exponencial	Lognormal
forma = 0,398454	forma = 0,530036	forma = 0,288841	media = 8,5798E11	media = 1512,43	media = 3,6303E24
escala = 2,03055	escala = 1484,37	escala = 41,8829	desviación estándar = 3,0266E22		desviación estándar = 5,45608E4
			Escala log: media = 3,19139		Escala log: media = 0,881944
			Escala log: desv. est. = 6,96943		Escala log: desv. est. = 10,5517
0,695177	0,997932	0,269448	0,953328	0,992237	0,999245

### Aerogenerador 25

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Gamma	Lognormal	No se ajusta	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,192226	media = 10696,3		media = 11026,5
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00128671	desviación estándar = 2,31428E7		desviación estándar = 6,55939E7
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 1,59812		Escala log: media = 0,617119
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,91907		Escala log: desv. est. = 4,16916
<b>P-valor</b>	0,506962	0,856068		0,560118

Hardware	Orientación	Rotor	Paso	Reenvío
----------	-------------	-------	------	---------

Weibull	Exponencial	Weibull	Lognormal	Weibull
forma = 0,288268	media = 1402,37	forma = 0,194114	media = 5,1227E6	forma = 0,172428
escala = 67,0729		escala = 0,25942	desviación estándar = 2,62939E13	escala = 2,10733
			Escala log: media = -0,00197126	
			Escala log: desv. est. = 5,55899	
0,527191	0,990114	0,436177	0,569816	0,425845

### Aerogenerador 26

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,266966	forma = 0,42329	media = 26,4395
<b>Parámetro 2</b>	escala = 86,3919	escala = 183,665	desviación estándar = 170,216
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 1,40073
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 1,93604
<b>P-valor</b>	0,760544	0,976865	0,380205

Generador	Hardware	Multiplicador	Rotor	Paso
Lognormal	Gamma	No se ajusta	Weibull	No se ajusta
media = 1,40607E11	forma = 0,296154		forma = 0,407535	
desviación estándar = 7,45519E20	escala = 0,00120558		escala = 767,411	
Escala log: media = 3,27786				
Escala log: desv. est. = 6,69199				
0,999245	0,98907		0,914213	

### Aerogenerador 27

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,569752	forma = 0,566851	media = 408,099	forma = 0,202409
<b>Parámetro 2</b>	escala = 338,817	escala = 561,652	desviación estándar = 34435,5	escala = 7,07853
<b>Parámetro 3</b>		umbral inferior = 0,255278	Escala log: media = 1,57611	

<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,97839	
<b>P-valor</b>	0,750262	0,819254	0,480214	0,376409

<b>Hardware</b>	<b>Orientación</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>
Weibull (3-Parámetros)	Lognormal	Weibull	Weibull
forma = 0,443875	media = 768,328	forma = 0,204518	forma = 0,270835
escala = 202,567	desviación estándar = 620,986	escala = 9,10619	escala = 36,4128
umbral inferior = 0,533333	Escala log: media = 6,39285		
Escala log: desv. est. = 3,65301	Escala log: desv. est. = 0,709037		
0,877547	0,999245	0,437809	0,640846

### Aerogenerador 28

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,313049	forma = 0,357813	media = 73,7308
<b>Parámetro 2</b>	escala = 55,3913	escala = 85,1807	desviación estándar = 667,502
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 2,09123
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,10199
<b>P-valor</b>	0,947938	0,857712	0,689846

<b>Generador</b>	<b>Hardware</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>
No se ajusta	Weibull	Weibull	Exponencial
	forma = 0,295222	forma = 0,39881	media = 343,859
	escala = 26,0296	escala = 184,518	
	0,244154	0,995076	0,207198

### Aerogenerador 29

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,328473	media = 2345,63	media = 60,4739	forma = 0,286668
<b>Parámetro 2</b>	escala = 114,74	desviación estándar = 7652,55	desviación estándar = 897,992	escala = 83,9433
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 6,53292	Escala log: media = 1,402	

<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 1,56677	Escala log: desv. est. = 2,32388	
<b>P-valor</b>	0,346456	0,999018	0,554628	0,732572

<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Congelación Anemómetro</b>	<b>Orientación</b>	<b>Paso</b>
Weibull	Weibull	Lognormal	Exponencial	Gamma
forma = 0,466987	forma = 0,50062	media = 0,114366	media = 1114,92	forma = 0,130686
escala = 416,683	escala = 140,681	desviación estándar = 0,0482214		escala = 0,000154398
		Escala log: media = -2,25017		
		Escala log: desv. est. = 0,404514		
0,778	0,978001	0,999245	0,893184	0,465704

### Aerogenerador 30

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Convertidor</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Hardware</b>	<b>Multiplicador</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Weibull	Gamma	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,684075	forma = 0,305253	forma = 0,874044	forma = 0,245826	media = 1801,08
<b>Parámetro 2</b>	escala = 491,617	escala = 73,2217	escala = 1947,56	escala = 0,00145676	desviación estándar = 884741,
<b>Parámetro 3</b>					Escala log: media = 1,29923
<b>Parámetro 4</b>					Escala log: desv. est. = 3,52049
<b>P-valor</b>	0,981945	0,920892	0,950466	0,619516	0,863263

<b>Congelación Anemómetro</b>	<b>Orientación</b>	<b>Rotor</b>	<b>Paso</b>	<b>Reenvío</b>
Lognormal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)	Weibull	Lognormal
media = 3209,75	forma = 0,280307	forma = 0,439809	forma = 0,280031	media = 1454,46
desviación estándar = 48481,1	escala = 35,9232	escala = 712,019	escala = 49,5477	desviación estándar = 143,657
Escala log: media = 5,35678		umbral inferior = 0,0291667		Escala log: media = 7,27754

Escala log: desv. est. = 2,33117				Escala log: desv. est. = 0,0985305
0,863643	0,622397	0,630891	0,566074	0,999245

### Aerogenerador 31

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull	No se ajusta	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 833,477	forma = 0,477379		media = 1186,8
<b>Parámetro 2</b>		escala = 361,793		desviación estándar = 274196,
<b>Parámetro 3</b>				Escala log: media = 1,63642
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 3,29927
<b>P-valor</b>	0,994175	0,545088		0,383173

Hardware	Orientación	Rotor	Paso
Weibull	Exponencial	Weibull	Weibull
forma = 0,29259	media = 865,421	forma = 0,25086	forma = 0,407302
escala = 47,4941		escala = 100,986	escala = 378,678
0,948783	0,891287	0,897647	0,669713

### Aerogenerador 32

	C. Hidráulica	Convertidor	Generador	Hardware
<b>Distribución</b>	Gamma	Lognormal	Weibull (3-Parámetros)	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,211745	media = 17917,2	forma = 0,387378	forma = 0,406724
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000482105	desviación estándar = 3,16441E8	escala = 291,994	escala = 649,498
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 0,0143913	umbral inferior = 0,0775	umbral inferior = 0,0266667
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 4,42247		
<b>P-valor</b>	0,615398	0,404002	0,450485	0,599161

Multiplicador	Orientación	Rotor	Paso	Reenvío
Exponencial	Lognormal	Exponencial	Weibull (3-Parámetros)	Lognormal

media = 1187,83	media = 2621,91	media = 1911,89	forma = 0,278433	media = 1,52012E11
	desviación estándar = 269,308		escala = 76,9543	desviación estándar = 4,94185E20
	Escala log: media = 7,86641		umbral inferior = 0,0111111	Escala log: media = 3,84501
	Escala log: desv. est. = 0,102445			Escala log: desv. est. = 6,61849
0,655054	0,999245	0,458656	0,607352	0,999245

### Aerogenerador 33

	C. Hidráulica	Convertidor	Vibraciones	Generador
<b>Distribución</b>	Weibull	Gamma	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,278163	forma = 0,304516	media = 77,0541	forma = 0,418716
<b>Parámetro 2</b>	escala = 76,4114	escala = 0,000296255	desviación estándar = 1181,42	escala = 1,07343
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 1,61243	
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,33756	
<b>P-valor</b>	0,500222	0,995151	0,811388	0,41155

Hardware	Multiplicador	Orientación	Paso	Reenvío
Exponencial	Weibull	Lognormal	Weibull	Lognormal
media = 697,058	forma = 0,251129	media = 596,521	forma = 0,314113	media = 424104,
	escala = 73,6202	desviación estándar = 1300,46	escala = 74,5129	desviación estándar = 1,13167E10
		Escala log: media = 5,51628		Escala log: media = 2,76592
		Escala log: desv. est. = 1,32275		Escala log: desv. est. = 4,51482
0,818819	0,978718	0,8013	0,846704	0,995387

## C.2. Parque eólico Oncala

### Aerogenerador 1

	Red	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull (3-Parámetros)	Gamma	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media =	forma = 0,407526	forma =	media =

	915,997		0,178683	325,72
<b>Parámetro 2</b>		escala = 616,982	escala = 0,000324997	
<b>Parámetro 3</b>		umbral inferior = 271,887		
<b>P-valor</b>	0,368234	0,918249	0,362488	0,701171

### Aerogenerador 2

	Red	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull	Weibull	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 758,723	forma = 0,388416	forma = 0,552726	media = 499,682
<b>Parámetro 2</b>		escala = 169,247	escala = 150,743	
<b>P-valor</b>	0,838905	0,986402	0,968752	0,874509

### Aerogenerador 3

	C. Hidráulica	Red	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 2377,35	forma = 2,04317	forma = 0,494959
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 104274,	escala = 1295,97	escala = 0,00220447
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 3,99245		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 2,75002		
<b>P-valor</b>	0,91679	0,994503	0,673428

Generador	Control	Diverso
Weibull	Gamma	Exponencial
forma = 0,503982	forma = 0,724049	media = 325,624
escala = 690,158	escala = 0,00179617	
0,999113	0,996582	0,978244

### Aerogenerador 4

	C. Hidráulica	Red	Generador
<b>Distribución</b>	No se ajusta	Exponencial	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>		media = 924,357	media = 3675,92
<b>Parámetro 2</b>			desviación estándar = 315439,
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 3,75733
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 2,98403

<b>P-valor</b>		0,96048	0,761605
----------------	--	---------	----------

<b>Control</b>	<b>Tren de potencia</b>	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
Gamma	Lognormal	Lognormal	Exponencial
forma = 0,199818	media = 4,80891	media = 13,0267	media = 211,406
escala = 0,00152625	desviación estándar = 5,54666	desviación estándar = 17,9682	
	Escala log: media = 1,14746	Escala log: media = 2,0342	
	Escala log: desv. est. = 0,919796	Escala log: desv. est. = 1,03228	
0,458002	0,999245	0,999245	0,412182

### Aerogenerador 5

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Orientación</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Gamma	No se ajusta	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,569378	forma = 0,446673	forma = 0,346717		forma = 0,364443
<b>Parámetro 2</b>	escala = 494,7	escala = 318,801	escala = 0,00142085		escala = 0,00100268
<b>P-valor</b>	0,651306	0,836503	0,636502		0,781061

### Aerogenerador 6

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Orientación</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Lognormal	Gamma	No se ajusta	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 2913,7	media = 3829,31	forma = 0,291775		forma = 0,775502
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 1922,51	desviación estándar = 11884,2	escala = 0,000924742		escala = 0,00172541
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 7,79647	Escala log: media = 7,06852			
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,601176	Escala log: desv. est. = 1,53748			
<b>P-valor</b>	0,780035	0,891294	0,662884		0,930259

### Aerogenerador 7

	<b>Red</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial	Lognormal	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media =	media = 809,662	forma = 0,730401

	612,863		
<b>Parámetro 2</b>		desviación estándar = 87668,9	escala = 0,000802096
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 2,01187	
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,06096	
<b>P-valor</b>	0,509952	0,996303	0,656605

<b>Control</b>	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
Gamma	Lognormal	Lognormal
forma = 0,494229	media = 727,349	media = 360,416
escala = 0,00138404	desviación estándar = 67417,6	desviación estándar = 626,282
	Escala log: media = 2,06009	Escala log: media = 5,19168
	Escala log: desv. est. = 3,00976	Escala log: desv. est. = 1,17947
0,882049	0,918806	0,875031

### Aerogenerador 8

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Red</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Exponencial	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 984128,	media = 1509,76	forma = 0,347589
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 2,25852E9		escala = 0,000402214
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 6,06105		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,93407		
<b>P-valor</b>	0,999245	0,943667	0,783528

<b>Control</b>	<b>Tren de potencia</b>	<b>Orientación</b>	<b>Diverso</b>
Exponencial	Lognormal	Lognormal	No se ajusta
media = 407,442	media = 858,343	media = 1,83066E7	
	desviación estándar = 4239,24	desviación estándar = 2,92307E12	
	Escala log: media = 5,13778	Escala log: media = 4,74189	
	Escala log: desv. est. = 1,79846	Escala log: desv. est. = 4,89508	
0,733919	0,999992	0,999245	

### Aerogenerador 9

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Orientación</b>	<b>Diverso</b>
--	------------	------------------	----------------	--------------------	----------------

<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull	Gamma	Lognormal	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 749,887	forma = 0,471155	forma = 0,483046	media = 1711,23	media = 522,281
<b>Parámetro 2</b>		escala = 360,649	escala = 0,00247732	desviación estándar = 1163,85	
<b>Parámetro 3</b>				Escala log: media = 7,25487	
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 0,616599	
<b>P-valor</b>	0,948134	0,941531	0,845971	0,999245	0,972194

### Aerogenerador 10

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	Weibull	No se ajusta	Weibull (3- Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	media = 1542,08	forma = 0,408378	forma = 0,647055		forma = 0,783328
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 3640,41	escala = 419,977	escala = 358,284		escala = 587,006
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 6,39941				umbral inferior = 0,000555556
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 1,37221				
<b>P-valor</b>	0,999387	0,757584	0,872331		0,665701

### Aerogenerador 11

	C. Hidráulica	Red	Vibraciones
<b>Distribución</b>	Lognormal	No se ajusta	No se ajusta
<b>Parámetro 1</b>	media = 2,96006E6		
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 5,95742E12		
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 0,385785		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 5,38794		
<b>P-valor</b>	0,956311		

<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Orientación</b>	<b>Diverso</b>
No se ajusta	No se ajusta	No se ajusta	No se ajusta

### Aerogenerador 12

	C. Hidráulica	Red	Generador
<b>Distribución</b>		Exponencial	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>		media = 749,945	media = 1148,28
<b>Parámetro 2</b>			desviación estándar = 6452,36
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 5,30424
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 1,86643
<b>P-valor</b>		0,94806	0,635234

Control	Tren de potencia	Diverso
Lognormal	Lognormal	Lognormal
media = 1255,83	media = 210,606	media = 463,001
desviación estándar = 7845,7	desviación estándar = 2130,27	desviación estándar = 434,67
Escala log: media = 5,29073	Escala log: media = 3,03111	Escala log: media = 5,82173
Escala log: desv. est. = 1,92084	Escala log: desv. est. = 2,15355	Escala log: desv. est. = 0,794984
0,588999	0,908289	0,904386

### Aerogenerador 13

	Red	Generador	Control	Tren de potencia	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial	Gamma	Gamma	Lognormal	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 687,698	forma = 0,265079	forma = 0,36912	media = 525,834	forma = 0,356878
<b>Parámetro 2</b>		escala = 0,000290774	escala = 0,00131659	desviación estándar = 1805,02	escala = 0,000772657
<b>Parámetro 3</b>				Escala log: media = 4,99091	
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 1,59629	
<b>P-valor</b>	0,900363	0,806016	0,61333	0,990678	0,432809

### Aerogenerador 14

	Red	Generador	Control	Tren de potencia	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial	Exponencial	No se ajusta	Lognormal	No se ajusta
<b>Parámetro 1</b>	media = 836,182	media = 1356,8		media = 1,10562E8	
<b>Parámetro 2</b>				desviación	

				estándar = 3,86557E14	
<b>Parámetro 3</b>				Escala log: media = 3,45388	
<b>Parámetro 4</b>				Escala log: desv. est. = 5,48948	
<b>P-valor</b>	0,999965	0,884412		0,990325	

### Aerogenerador 15

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Gamma	Exponencial	Gamma	No se ajusta	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,329062	media = 433,304	forma = 0,268758		media = 292,517
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,0013598		escala = 0,000594445		
<b>P-valor</b>	0,922707	0,393406	0,764408		0,16814

### Aerogenerador 16

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Red</b>	<b>Vibraciones</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial	Gamma	No se ajusta	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 672,97	forma = 0,410038		forma = 0,807923
<b>Parámetro 2</b>		escala = 0,000894782		escala = 622,534
<b>P-valor</b>	0,448959	0,834871		0,920767

<b>Control</b>	<b>Tren de potencia</b>	<b>Orientación</b>	<b>Diverso</b>
Gamma	Exponencial	Weibull	Gamma
forma = 0,754493	media = 387,189	forma = 0,397731	forma = 0,422261
escala = 0,00185611		escala = 43,4581	escala = 0,00157311
0,928739	0,991888	0,986014	0,948329

### Aerogenerador 17

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Gamma	Weibull	Gamma	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,431667	forma = 0,281814	forma = 0,412521	forma = 0,254717	forma = 0,628751

<b>Parámetro 2</b>	escala = 123,989	escala = 0,000337707	escala = 319,939	escala = 0,000657224	escala = 462,092
<b>Parámetro 3</b>					umbral inferior = 0,0122222
<b>P-valor</b>	0,741844	0,773426	0,96012	0,991435	0,948743

### Aerogenerador 18

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,601552	forma = 0,356729	forma = 0,330834	forma = 0,440413	forma = 0,508228
<b>Parámetro 2</b>	escala = 13,5429	escala = 0,00056188	escala = 0,000443086	escala = 0,00105645	escala = 0,00170791
<b>P-valor</b>	0,921579	0,653543	0,880191	0,824595	0,677137

### Aerogenerador 19

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,607058	forma = 0,382948	forma = 0,365298
<b>Parámetro 2</b>	escala = 1050,7	escala = 177,449	escala = 0,000961893
<b>Parámetro 3</b>			
<b>Parámetro 4</b>			
<b>P-valor</b>	0,929131	0,864798	0,963406

<b>Tren de potencia</b>	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
Lognormal	Lognormal	Exponencial
media = 378,564	media = 276378,	media = 522,364
desviación estándar = 411,893	desviación estándar = 2,75241E9	
Escala log: media = 5,54585	Escala log: media = 3,32331	
Escala log: desv. est. = 0,883788	Escala log: desv. est. = 4,29097	
0,99995	0,990277	0,992347

### Aerogenerador 20

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	No se ajusta	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,31696	forma = 0,397217		forma = 0,330063
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000499307	escala = 225,349		escala = 0,000788089
<b>P-valor</b>	0,56392	0,785544		0,693534

### Aerogenerador 21

	Red	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial	Gamma	No se ajusta	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 687,831	forma = 0,349906		forma = 0,626588
<b>Parámetro 2</b>		escala = 0,000384608		escala = 452,913
<b>P-valor</b>	0,451371	0,976147		0,429735

### Aerogenerador 22

	Red	Generador	Control	Anemómetro	Diverso
<b>Distribución</b>	Gamma	Lognormal	Gamma	Weibull	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,354482	media = 5311,07	forma = 0,389181	forma = 0,320865	forma = 0,527899
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000515353	desviación estándar = 1,34614E6	escala = 0,00133298	escala = 16,8432	escala = 278,563
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 3,04234			
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,32722			
<b>P-valor</b>	0,451457	0,62	0,838471	0,113007	0,672856

### Aerogenerador 23

	Red	Generador	Control	Anemómetro	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull	Gamma	No se ajusta	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 687,802	forma = 0,399426	forma = 0,485853		forma = 0,745195
<b>Parámetro 2</b>		escala = 238,604	escala = 0,0016717		escala = 479,449
<b>P-valor</b>	0,451214	0,777581	0,493287		0,894174

### Aerogenerador 24

	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Gamma	Gamma	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,307886	forma = 0,365735	media = 522,5
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00063311	escala = 0,00164685	
<b>P-valor</b>	0,917508	0,964262	0,904979

### Aerogenerador 25

	C. Hidráulica	Red	Generador
<b>Distribución</b>	Lognormal	Gamma	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 3368,9	forma = 0,400403	forma = 0,740159
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 918,99	escala = 0,000805885	escala = 528,546
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 8,08645		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,267907		
<b>P-valor</b>	0,999245	0,355149	0,969369

Sistema de freno	Control	Tren de potencia	Diverso
Weibull	Weibull	Lognormal	Exponencial
forma = 0,474945	forma = 0,507245	media = 160,874	media = 314,684
escala = 60,8943	escala = 191,607	desviación estándar = 1647,56	
		Escala log: media = 2,74945	
		Escala log: desv. est. = 2,15925	
0,994802	0,973474	0,125	0,998711

### Aerogenerador 26

	Red	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Gamma	Exponencial	Weibull	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,328111	media = 1326,1	forma = 0,502703	forma = 0,369674
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000494242		escala = 204,625	escala = 0,000925496
<b>P-valor</b>	0,702424	0,995672	0,765593	0,761838

### Aerogenerador 27

	Vibraciones	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	No se ajusta	Lognormal	Gamma	Weibull
<b>Parámetro 1</b>		media = 5634,04	forma = 0,424543	forma = 0,857474
<b>Parámetro 2</b>		desviación estándar = 310991,	escala = 0,00109551	escala = 522,182
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 4,62548		
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 2,83235		
<b>P-valor</b>		0,475107	0,620939	0,960078

### Aerogenerador 28

	Generador	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 291,467	forma = 0,880643
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 65,6385	escala = 648,687
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 5,65019	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,222421	
<b>P-valor</b>	0,951614	0,993833

### Aerogenerador 29

	Red	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial	Weibull	Gamma	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 2023,19	forma = 0,454124	forma = 0,259997	media = 635,315
<b>Parámetro 2</b>		escala = 497,448	escala = 0,000594738	
<b>P-valor</b>	0,95696	0,560922	0,399445	0,895292

### Aerogenerador 30

	C. Hidráulica	Red
<b>Distribución</b>	Lognormal	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 23961,4	forma = 0,328108
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 5,25622E7	escala = 0,000494026
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 2,39089	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,92258	
<b>P-valor</b>	0,847065	0,702862

Vibraciones	Generador	Control	Diverso
Gamma	Lognormal	No se ajusta	Gamma
forma = 0,437289	media = 2254,0		forma = 1,31934
escala = 0,00524146	desviación estándar = 38927,8		escala = 0,00213673
	Escala log: media = 4,86979		
	Escala log: desv. est. = 2,38775		
0,97314	0,623892		0,767384

### Aerogenerador 31

	Red	Generador	Control	Orientación	Diverso
--	-----	-----------	---------	-------------	---------

<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Weibull	No se ajusta	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,790271	media = 4104,36	forma = 0,427152		media = 560,723
<b>Parámetro 2</b>	escala = 700,127	desviación estándar = 84100,4	escala = 104,286		
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 5,29865			
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 2,45811			
<b>P-valor</b>	0,866045	0,564551	0,56772		0,983243

### Aerogenerador 32

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Gamma	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,321506	forma = 0,294039
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000524719	escala = 0,000359059
<b>Parámetro 3</b>		
<b>Parámetro 4</b>		
<b>P-valor</b>	0,725635	0,911917

<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
Lognormal	Lognormal	Exponencial
media = 2783,62	media = 9474,58	media = 617,619
desviación estándar = 2445,5	desviación estándar = 1,17539E6	
Escala log: media = 7,6455	Escala log: media = 4,33559	
Escala log: desv. est. = 0,756311	Escala log: desv. est. = 3,10508	
0,999245	0,701119	0,916649

### Aerogenerador 33

	<b>Red</b>	<b>Generador</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	media = 1675,59	forma = 0,467262
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 1277,34	escala = 1339,94
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 7,19485	umbral inferior = 369,804
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,676861	
<b>P-valor</b>	0,998885	0,892856

<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
-------------------------	----------------	----------------

Lognormal	Weibull	Weibull
media = 190,091	forma = 0,392622	forma = 0,699969
desviación estándar = 183,358	escala = 141,284	escala = 418,622
Escala log: media = 4,91864		
Escala log: desv. est. = 0,81101		
0,97483	0,657383	0,801773

## C.2. Parque eólico Magaña

### Aerogenerador 1

	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,679325	forma = 0,696896
<b>Parámetro 2</b>	escala = 501,118	escala = 380,114
<b>Parámetro 3</b>		umbral inferior = 164,54
<b>P-valor</b>	0,927645	0,55195

### Aerogenerador 2

	Control	Anemómetro	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	No se ajusta	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>	media = 2914,64		forma = 0,838429
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 1192,76		escala = 480,711
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 7,90008		umbral inferior = 0,00138889
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,393494		
<b>P-valor</b>	0,999245		0,580601

### Aerogenerador 3

	Red	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Exponencial	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 20,6984	media = 1098,48	forma = 0,581298
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 306,396		escala = 331,341
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 0,332952		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 2,32254		
<b>P-valor</b>	0,999245	0,676736	0,930399

### Aerogenerador 4

	Anemómetro	Orientación	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Lognormal	Exponencial

<b>Parámetro 1</b>	media = 109,377	media = 0,943141	media = 384,686
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 2349,93	desviación estándar = 1,38015	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 1,62638	Escala log: media = - 0,630876	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 2,47727	Escala log: desv. est. = 1,06989	
<b>P-valor</b>	0,999245	0,999245	0,879702

### Aerogenerador 5

	<b>Sistema de freno</b>	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Lognormal	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 2,09773	media = 66,6372	media = 840,935
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 4,11899	desviación estándar = 4904,16	desviación estándar = 2533,02
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = - 0,049202	Escala log: media = - 0,0994061	Escala log: media = 5,57958
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 1,25703	Escala log: desv. est. = 2,93212	Escala log: desv. est. = 1,51982
<b>P-valor</b>	0,999245	0,821425	0,782764

### Aerogenerador 6

	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 484,528
<b>P-valor</b>	0,991966

### Aerogenerador 7

	<b>Red</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 57670,7	forma = 0,250951	forma = 0,337541
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 4,54033E7	escala = 197,041	escala = 0,000522931
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 4,29391		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,65201		
<b>P-valor</b>	0,978	0,974533	0,8576

### Aerogenerador 8

	<b>Red</b>	<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>
<b>Distribución</b>	Gamma	Weibull	Lognormal

<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,231972	forma = 0,292649	media = 82286,6
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00126424	escala = 102,844	desviación estándar = 3,11713E8
<b>Parámetro 3</b>			Escala log: media = 3,07833
<b>Parámetro 4</b>			Escala log: desv. est. = 4,05947
<b>P-valor</b>	0,0931712	0,948116	0,974745

<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
Lognormal	Gamma
media = 20332,0	forma = 0,272729
desviación estándar = 8,09101E7	escala = 0,000656166
Escala log: media = 1,63105	
Escala log: desv. est. = 4,07158	
0,557604	0,791888

### Aerogenerador 9

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Lognormal	Gamma	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 65,5375	media = 518380,	forma = 0,412211	media = 597,252
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 11496,7	desviación estándar = 7,62354E11	escala = 0,000252899	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = - 0,984592	Escala log: media = - 1,04275		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,21472	Escala log: desv. est. = 5,32939		
<b>P-valor</b>	0,291916	0,888207	0,980869	0,845042

### Aerogenerador 10

	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 35671,0	forma = 0,802041
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 2,76278E6	escala = 587,552
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 6,13236	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 2,94949	
<b>P-valor</b>	0,986482	0,647263

### Aerogenerador 11

	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 714,85
<b>P-valor</b>	0,757765

### Aerogenerador 12

	<b>Sistema de freno</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 4807,21	media = 722,27
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 7470,8	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 7,86376	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 1,10825	
<b>P-valor</b>	0,999245	0,821805

### Aerogenerador 13

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Red</b>
<b>Distribución</b>	Gamma	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,290768	media = 124,571
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,000570382	desviación estándar = 484,913
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 3,43382
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 1,66796
<b>P-valor</b>	0,770767	0,986719

<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
Gamma	Lognormal	Exponencial
forma = 0,240791	media = 493,393	media = 666,71
escala = 0,00150894	desviación estándar = 206,6	
	Escala log: media = 6,12053	
	Escala log: desv. est. = 0,401939	
0,958414	0,999245	0,99407

### Aerogenerador 14

	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	No se ajusta	Weibull
<b>Parámetro 1</b>		forma = 0,758704
<b>Parámetro 2</b>		escala = 566,477
<b>P-valor</b>		0,944883

### Aerogenerador 15

	Control	Orientación	Diverso
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,692041	media = 452,36	media = 919,864
<b>Parámetro 2</b>	escala = 322,162	desviación estándar = 1059,71	desviación estándar = 1568,87
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 5,17951	Escala log: media = 6,1426
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 1,36746	Escala log: desv. est. = 1,16759
<b>P-valor</b>	0,87541	0,999245	0,956338

### Aerogenerador 16

	Control	Anemómetro	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 2055,96	forma = 0,320769	media = 574,027
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 8118,68	escala = 38,142	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 6,22399		
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 1,67601		
<b>P-valor</b>	0,997263	0,397328	0,281198

### Aerogenerador 17

	Red	Sistema de freno	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	No se ajusta	Gamma	Gamma	Weibull (3-Parámetros)
<b>Parámetro 1</b>		forma = 0,407433	forma = 0,248139	forma = 0,58426
<b>Parámetro 2</b>		escala = 0,000681769	escala = 0,000406749	escala = 455,313
<b>Parámetro 3</b>				umbral inferior = 256,455
<b>P-valor</b>		0,850328	0,927223	0,990003

### Aerogenerador 18

	Diverso
<b>Distribución</b>	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 593,898
<b>P-valor</b>	0,918387

### Aerogenerador 19

	Sistema de freno	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Lognormal	Exponencial

<b>Parámetro 1</b>	media = 4531,36	media = 9202,7	media = 673,53
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 5295,48	desviación estándar = 40136,7	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 7,98824	Escala log: media = 7,62884	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,927939	Escala log: desv. est. = 1,73113	
<b>P-valor</b>	0,999245	0,999245	0,992816

### Aerogenerador 20

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Red</b>	<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull	No se ajusta	Weibull	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 1801,83	forma = 1,0481		forma = 0,251285	media = 729,669
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 11705,5	escala = 370,122		escala = 44,0163	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 5,61359				
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 1,9406				
<b>P-valor</b>	0,99806	0,833467		0,808185	0,870109

### Aerogenerador 21

	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 13665,9	media = 445,833
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 1,5239E6	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 4,80849	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 3,07056	
<b>P-valor</b>	0,953949	0,766137

### Aerogenerador 22

	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial	Gamma
<b>Parámetro 1</b>	media = 1608,42	forma = 0,230373
<b>Parámetro 2</b>		escala = 0,000312165
<b>P-valor</b>	0,999487	0,583444

### Aerogenerador 23

	Red	Sistema de freno	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Gamma	Lognormal	Gamma	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,278019	media = 2231,2	forma = 0,254913	forma = 0,69493
<b>Parámetro 2</b>	escala = 0,00220955	desviación estándar = 1,73414E6	escala = 0,000571782	escala = 497,148
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 1,05457		
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,64849		
<b>P-valor</b>	0,190257	0,38355	0,568824	0,940218

### Aerogenerador 24

	Generador	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Lognormal	Lognormal
<b>Parámetro 1</b>	media = 201,726	media = 1008,97	media = 648,702
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 34,6122	desviación estándar = 311,878	desviación estándar = 257,943
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 5,2924	Escala log: media = 6,87106	Escala log: media = 6,40158
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 0,170337	Escala log: desv. est. = 0,302079	Escala log: desv. est. = 0,383131
<b>P-valor</b>	0,998979	0,999245	0,982641

### Aerogenerador 25

	Control	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull
<b>Parámetro 1</b>	media = 951,156	forma = 1,25361
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 2272,46	escala = 709,918
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 5,90602	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 1,37961	
<b>P-valor</b>	0,594266	0,633948

### Aerogenerador 26

	Tren de potencia	Diverso
<b>Distribución</b>	Lognormal	Weibull

<b>Parámetro 1</b>	media = 143,871	forma = 1,64629
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 6108,49	escala = 928,276
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 1,22012	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 2,73817	
<b>P-valor</b>	0,968573	0,961389

### Aerogenerador 27

	<b>Red</b>	<b>Control</b>	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Lognormal	Lognormal	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,556488	media = 6461,96	media = 479,947	media = 497,443
<b>Parámetro 2</b>	escala = 79,2341	desviación estándar = 1,3666E7	desviación estándar = 1593,39	
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 1,11695	Escala log: media = 4,93031	
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,91324	Escala log: desv. est. = 1,57694	
<b>P-valor</b>	0,658527	0,44324	0,922308	0,271254

### Aerogenerador 28

	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Lognormal	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 6952,97	media = 837,596
<b>Parámetro 2</b>	desviación estándar = 36164,9	
<b>Parámetro 3</b>	Escala log: media = 7,17986	
<b>Parámetro 4</b>	Escala log: desv. est. = 1,82596	
<b>P-valor</b>	0,999245	0,853781

### Aerogenerador 29

	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 1144,41
<b>P-valor</b>	0,985232

### Aerogenerador 30

	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	No se ajusta	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>		media = 971,913

<b>P-valor</b>		0,973766
----------------	--	----------

### Aerogenerador 31

	<b>Red</b>	<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>	<b>Anemómetro</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Exponencial	Lognormal	Weibull	No se ajusta	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	media = 167,205	media = 1174,11	forma = 0,434729		media = 755,057
<b>Parámetro 2</b>		desviación estándar = 7610,41	escala = 317,197		
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 5,18749			
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 1,93947			
<b>P-valor</b>	0,8982	0,999185	0,954027		0,943405

### Aerogenerador 32

	<b>C. Hidráulica</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	Weibull	Gamma	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>	forma = 0,706786	forma = 0,299166	media = 837,963
<b>Parámetro 2</b>	escala = 1511,5	escala = 0,000935636	
<b>P-valor</b>	0,73986	0,17409	0,969823

### Aerogenerador 33

	<b>Red</b>	<b>Sistema de freno</b>	<b>Control</b>	<b>Diverso</b>
<b>Distribución</b>	No se ajusta	Lognormal	Weibull	Exponencial
<b>Parámetro 1</b>		media = 7638,69	forma = 0,592113	media = 770,427
<b>Parámetro 2</b>		desviación estándar = 1,4994E7	escala = 517,077	
<b>Parámetro 3</b>		Escala log: media = 1,3588		
<b>Parámetro 4</b>		Escala log: desv. est. = 3,89414		
<b>P-valor</b>		0,83561	0,768428	0,898981